

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

IZABELE DOMINGUES SOARES

ETIOLOGIA DA MANCHA FOLIAR E RESISTÊNCIA GENÉTICA EM *Eucalyptus benthamii* À *Calonectria metrosideri* E *Calonectria spathulata*



CURITIBA

2019

IZABELE DOMINGUES SOARES

ETIOLOGIA DA MANCHA FOLIAR E RESISTÊNCIA GENÉTICA EM *Eucalyptus benthamii* À *Calonectria metrosideri* E *Calonectria spathulata*

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Área de Concentração em Silvicultura, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Celso Garcia Auer

Coorientadores: Prof. Dr. Álvaro Figueredo dos Santos
Prof. Dr. Evandro Vagner Tambarussi

CURITIBA

2019

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Soares, Izabele Domingues

Etiologia da mancha foliar e resistência genética em *Eucalyptus benthamii* À *Calonectria metrosideri* E *Calonectria spathulata* / Izabele Domingues Soares. – Curitiba, 2019.
133 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Celso Garcia Auer

Coorientadores: Prof. Dr. Álvaro Figueredo dos Santos

Prof. Dr. Evandro Vagner Tambarussi

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 28/02/2019.

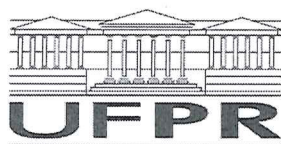
Área de concentração: Silvicultura.

1. *Eucalyptus benthamii* – Doenças e pragas. 2. Fungos. 3. *Eucalyptus benthamii* – Melhoramento genético. 4. Seleção de plantas – Melhoramento genético. 5. Teses. I. Auer, Celso Garcia. II. Santos, Álvaro Figueredo dos. III. Tambarussi, Evandro Vagner. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.443

Bibliotecária: Berenice Rodrigues Ferreira – CRB 9/1160



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA
FLORESTAL - 40001016015P0

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **IZABELE DOMINGUES SOARES** intitulada: **ETIOLOGIA DA MANCHA FOLIAR E RESISTÊNCIA GENÉTICA EM *Eucalyptus benthamii* À *Calonectria metrosideri* E *Calonectria spathulata***, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 28 de Fevereiro de 2019.

CELSO GARCIA AUER
Presidente da Banca Examinadora

GIOVANA BOMFIM DE ALCANTARA
Avaliador Interno (UFPR)

SANDRA REGINA CABEL
Avaliador Externo (PUC/PR)

LUCIENE MARTINS MOREIRA
Avaliador Externo (PUC/PR)

DAGMA KRATZ
Avaliador Interno (UFPR)



AGRADECIMENTOS

A **Deus**, a quem eu louvo e agradeço com todo o meu coração. A **Nossa Senhora** e a todos os **santos e anjos** pela intercessão, luz e proteção.

A minha mãe **Maria Domingues** e irmã **Luiza Domingues**, meus alicerces, por todo amor, carinho, apoio e por não medirem esforços para eu completar mais esta etapa da vida.

Ao meu pai **Peter Soares** e minha vó **Zélia Soares**, pessoas importantes na minha vida.

Ao meu noivo, **Rodrigo Miranda**, um presente de Deus nesta jornada acadêmica, obrigada pelo amor, parceria e incentivo diário, e a sua família – **Dona Alva, São, Hudson** e **Ana Laura**, pelo carinho, consideração e orações.

Aos meus **familiares** e àqueles que considero, pessoas essenciais nessa caminhada.

À **UFPR**, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal e à **CAPES** pelos recursos e pela oportunidade que me foi concedida de cursar nesta instituição.

Ao **Prof. Dr. Celso Garcia Auer**, pela paciência, compreensão, amizade e orientação nestes quatro anos de doutorado.

Ao **Prof. Dr. Evandro Vagner Tambarussi** e **Prof. Dr. Álvaro Figueredo dos Santos** pela amizade e coorientação.

Aos colegas: **Eduardo Henrique Rezende, Thiare Coelho, Izabela Duin, Rildo Fernandes, Rafael Nalin, Thaíssa, Gizeli** e ao **Dr. João Bachega** por todas as contribuições dadas para a realização deste trabalho, sou muito grata.

À **Profª. Drª Maria Alves Ferreira** pelo apoio dado e auxílio fornecido nas análises moleculares.

*Aos funcionários do Laboratório de Patologia Florestal da Embrapa Florestas, **Davi Viega** e **Caroline Bühner** pela ajuda na condução dos experimentos e amizade.*

*À **Gisela Pedrassani Andrejow**, **Mara Luana Engel** e ao **Waldemar A. Veiga**, por cederem as áreas experimentais para a condução e realização deste trabalho e pela assistência na coleta de dados no campo. À **Golden Tree** Reflorestadora pela ajuda no fornecimento de mudas.*

*À **Embrapa Florestas** e seus funcionários, pelo suporte dado para o desenvolvimento do meu projeto.*

*Às pessoas queridas que Deus colocou em meu caminho e que contribuíram para o meu crescimento espiritual e conseqüentemente me deram forças nessa empreitada, dentre elas: **Rosana e família**, **Pedro e Paulina**, **D. Elzier**, **Adriana**, **peçoal do terço** e tantas outras que o Senhor me permitiu conhecer.*

*Aos **professores**, **colegas de pós-graduação** e àqueles que tive maior convívio, que me ajudaram nesta caminhada acadêmica.*

*A **todos** aqueles que de alguma forma contribuíram para o término deste trabalho.*

RESUMO

A mancha foliar no eucalipto incitada pelos fungos do gênero *Calonectria* (anamorfo *Cylindrocladium*) é, atualmente, uma das principais doenças da cultura que ocasiona lesões nas folhas do hospedeiro. Assim, os objetivos desta pesquisa foram caracterizar a etiologia da mancha foliar em testes de progênies de *Eucalyptus benthamii* e avaliar o controle genético da doença, a fim de selecionar indivíduos resistentes como suporte para condução de futuros programas de melhoramento genético florestal. O experimento, constituído de 85 progênies e seis testemunhas com sintomas de mancha foliar, foi replicado em três municípios nos estados de Santa Catarina e Paraná, Brasil, e avaliado quanto à resistência à doença utilizando como ferramentas a incidência e severidade da doença aos 10, 16 e 27 meses de idade. Foi utilizada uma escala de avaliação de severidade que variou de zero (sem a doença) a quatro (desfolha até 2/3 da árvore). Caracteres morfológicos e sequências de DNA de duas regiões gênicas: β -tubulina (TUB) e calmodulina (CAL) foram usados para identificar as espécies fúngicas, indicando as espécies *Calonectria metrosideri* e *Calonectria spathulata* como os agentes causais da mancha. Este é o primeiro relato de ambas as espécies em *E. benthamii* e o primeiro relato de *Ca. metrosideri* em plantios do gênero *Eucalyptus* em nível mundial. Os fungos foram reisolados de folhas doentes cumprindo os postulados de Koch, sendo verificado que *Ca. spathulata* foi mais agressivo que *Ca. metrosideri*. Os sintomas da doença atingiram todas as árvores e resultaram em mais de 50% de desfolha da copa em árvores com mais de dois anos de idade. Os resultados das análises genéticas demonstraram haver variabilidade genética nas populações. As estimativas de herdabilidade média de progênies (h_{mp}^2) variaram de 0,14 a 0,64 nas análises individuais; e na análise conjunta foi de 0,39, o que sugere elevados ganhos genéticos para seleção nos locais. Ocorreram superestimativas de mais de 100% para os ganhos genéticos de seleção ao considerar *E. benthamii* como espécie alógama quando, de fato, possui sistema reprodutivo misto. A avaliação conjunta revelou correlação genética das progênies de 0,62; valor abaixo do recomendado pela literatura para a formação de uma única zona de melhoramento para os três locais, indicando que a seleção de materiais resistentes à mancha deverá ser realizada para cada local. Pesquisas como esta são de grande relevância ao setor florestal para contornar esse tipo de problema e auxiliar na tomada de decisões.

Palavras-chave: Seleção genética; Doença foliar; *Eucalyptus*, Herdabilidade, Sistema misto de reprodução

ABSTRACT

Leaf spots in eucalypts, triggered by fungi of the genus *Calonectria* (anamorph *Cylindrocladium*), is currently one of the main diseases affecting the crop, causing lesions on the leaves of the host. Thus, the objectives of this research were to characterize leaf spot etiology in progenies of *Eucalyptus benthamii*, evaluate genetic control of the disease, and identify resistant individuals that could provide the basis for future forest genetic improvement programs. The experiment consisted of 85 progenies and six controls with symptoms of leaf spots, replicated in three municipalities in the states of Santa Catarina and Paraná, Brazil. Progenies were evaluated for resistance to disease based on the incidence and severity of the disease at 10, 16, and 27 months of age. The severity evaluation scale ranged from zero (without the disease) to four (defoliation of up to 2/3 of the tree). Morphological characteristics and DNA sequences from two gene regions, β -tubulin (TUB) and calmodulin (CAL), identified the causal agents of the leaf spots as the fungal species *Calonectria metrosideri* and *Calonectria spathulata*. This is the first report of both species in *E. benthamii* and the first report of *Ca. metrosideri* in *Eucalyptus* plantations worldwide. The fungi were re-isolated from diseased leaves to fulfill the Koch postulates, and *Ca. spathulata* was identified as more aggressive than *Ca. metrosideri*. Symptoms of the disease were found in all trees and resulted in more than 50% canopy defoliation in two-year-old trees. The results of the genetic analyses showed genetic variability in the populations. The mean heritability estimates of progenies (h^2_{mp}) ranged from 0.14 to 0.64 in individual analyses and 0.39 in the joint analysis, suggesting high genetic gains for selection at each site. In terms of genetic selection gains, overestimates of more than 100% were observed when considering *E. benthamii* as an allogamous species rather than its actual mixed reproductive system. The joint evaluation revealed a genetic correlation of progenies of 0.62, a value below that recommended in the literature for the formation of a single improvement zone for the three sites. This indicates that the selection of leaf spot resistant genetic material should be performed for each site. Research such as the current study is of great significance to the forestry sector in order to overcome this problem and help inform decision making.

Keywords: Genetic selection; leaf disease; *Eucalyptus*, Heritability, Mixed-mating system

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA OCORRÊNCIA NATURAL DE <i>Eucalyptus benthamii</i> NA REGIÃO DE NOVA GALES DO SUL – AUSTRÁLIA.....	23
CAPÍTULO I	
FIGURA 1.2 - LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO.....	53
FIGURA 1.3 - MARCADORES MORFOLÓGICOS UTILIZADOS PARA A CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DE <i>Calonectria</i> spp.....	58
FIGURA 1.4 - INOCULAÇÃO POR ASPERSÃO DE ESPOROS DE <i>Calonectria metrosideri</i> E <i>Calonectria spathulata</i> EM FOLHAS DE MUDAS DE <i>Eucalyptus benthamii</i> COM OITO MESES DE IDADE.....	59
FIGURA 1.5 - INOCULAÇÃO COM DISCO DE MICÉLIO DE <i>Calonectria metrosideri</i> E <i>Calonectria spathulata</i> EM FOLHAS DE MUDAS DE <i>Eucalyptus benthamii</i> COM OITO MESES DE IDADE.....	60
FIGURA 1.6 - ESCALA UTILIZADA PARA AVALIAR A SEVERIDADE DE <i>Calonectria</i> EM ÁRVORES DE <i>Eucalyptus benthamii</i>	61
FIGURA 1.7 - INCIDÊNCIA DA CLB EM TESTE DE PROGÊNIES DE <i>Eucalyptus benthamii</i> NOS MUNICÍPIOS DE MAFRA E PORTO UNIÃO, NO ESTADO DE SANTA CATARINA, E SÃO MATEUS DO SUL, NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL.....	63
FIGURA 1.8 - ÁRVORE FILOGENÉTICA PARA <i>Calonectria metrosideri</i> E <i>Calonectria spathulata</i> OBTIDA POR INFERÊNCIA BAYESIANA DE DADOS COMBINADOS DAS REGIÕES TUB E CAL. ISOLADOS EM NEGRITO FORAM SEQUENCIADOS NESTE ESTUDO.....	64
FIGURA 1.9 - CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE <i>Calonectria metrosideri</i> OBTIDAS NESTE ESTUDO.....	66
FIGURA 1.10 - SINTOMAS DA MANCHA RESULTANTES DA INOCULAÇÃO COM DISCOS DE MEIO DE CULTURA COM MICÉLIO DE <i>Calonectria metrosideri</i> e <i>Calonectria spathulata</i>	

	EM MUDAS DE <i>Eucalyptus benthamii</i> AVALIADOS AOS 10 DIAS APÓS A INOCULAÇÃO.....	67
FIGURA 1.11 -	SINTOMAS DA MANCHA RESULTANTES DA INOCULAÇÃO POR ASPERSÃO DE <i>Calonectria metrosideri</i> E <i>Calonectria spathulata</i> EM MUDAS DE <i>Eucalyptus benthamii</i> AVALIADOS AOS 10 DIAS APÓS A INOCULAÇÃO.....	68

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

TABELA 1.1 - PROGÊNIES E PROCEDÊNCIAS DE <i>Eucalyptus benthamii</i> UTILIZADAS NAS AVALIAÇÕES NOS MUNICÍPIOS DE MAFRA E PORTO UNIÃO, NO ESTADO DE SANTA CATARINA, E SÃO MATEUS DO SUL, NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL.....	54
TABELA 1.2 - CARACTERÍSTICAS EDAFOCLIMÁTICAS DOS TRÊS LOCAIS DE ESTUDO.....	54
TABELA 1.3 - ISOLADOS DE <i>Calonectria</i> , ORIGEM, HOSPEDEIRO E NÚMEROS DE ACESSO GENBANK PARA SEQUÊNCIAS DE DNA UTILIZADAS. ISOLADOS EM NEGRITO FORAM SEQUENCIADOS NESTE ESTUDO.....	65
TABELA 1.4 - SEVERIDADE MÉDIA DA CLB CAUSADA POR <i>Calonectria metrosideri</i> E <i>Calonectria spathulata</i> EM MUDAS DE <i>Eucalyptus benthamii</i> AVALIADA POR DOIS MÉTODOS DE INOCULAÇÃO ARTIFICIAL, AOS 10 DIAS APÓS A INOCULAÇÃO.....	68
TABELA 1.5 - SEVERIDADE MÉDIA DA CLB CAUSADA POR <i>Calonectria metrosideri</i> e <i>Calonectria spathulata</i> EM PROGÊNIES E TESTEMUNHAS DE <i>Eucalyptus benthamii</i> E A AMPLITUDE DE VARIAÇÃO NOS VALORES, NOS MUNICÍPIOS DE MAFRA E PORTO UNIÃO, NO ESTADO DE SANTA CATARINA, E SÃO MATEUS DO SUL, NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL, AOS 10, 16 E 27 MESES DE IDADE.....	70
TABELA 1.6 - POSIÇÃO RELATIVA DAS TESTEMUNHAS DE <i>Eucalyptus benthamii</i> , EM RELAÇÃO À CLASSIFICAÇÃO BASEADA NA SEVERIDADE MÉDIA DA CLB NOS MUNICÍPIOS DE MAFRA E PORTO UNIÃO, NO ESTADO DE SANTA CATARINA, E SÃO MATEUS DO SUL, NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL, AOS 10, 16 E 27 MESES DE IDADE.....	71

CAPÍTULO II

TABELA 2.1 - PROGÊNIES E PROCEDÊNCIAS DE <i>E. benthamii</i> UTILIZADAS NAS AVALIAÇÕES NOS MUNICÍPIOS DE MAFRA E PORTO UNIÃO, NO ESTADO DE SANTA CATARINA, E SÃO MATEUS DO SUL, NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL.....	84
TABELA 2.2 - CARACTERÍSTICAS EDAFOCLIMÁTICAS DOS TRÊS LOCAIS DE ESTUDO.....	85
TABELA 2.3 - CLASSIFICAÇÃO DOS VALORES DE HERDABILIDADE.....	90
TABELA 2.4 - TESTE DA RAZÃO DA MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA (LRT) PARA A CARACTERÍSTICA MANCHA FOLIAR DE CALONECTRIA (CLB) EM PROGÊNIES DE <i>Eucalyptus benthamii</i> AOS 10, 16 e 27 MESES DE IDADE NOS MUNICÍPIOS DE SÃO MATEUS DO SUL - PR, MAFRA E PORTO UNIÃO – SC.....	92
TABELA 2.5 - COMPONENTES DE VARIÂNCIAS E ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS DA ANÁLISE INDIVIDUAL DOS LOCAIS E AVALIAÇÕES REALIZADAS PARA O CARÁTER SEVERIDADE DA CLB DAS PROGÊNIES DE <i>Eucalyptus benthamii</i>	92
TABELA 2.6 - ESTIMATIVAS DA HERDABILIDADE INDIVIDUAL NO SENTIDO RESTRITO (h_a^2) E DO GANHO GENÉTICO CONSIDERANDO PROGÊNIES DE SISTEMA REPRODUTIVO MISTO (SM) E MEIAS-IRMÃS (MI) PARA O CARÁTER SEVERIDADE DA CLB EM PROGÊNIES DE <i>Eucalyptus benthamii</i> NAS IDADES DE 10, 16 E 27 MESES, NOS LOCAIS AVALIADOS.....	94
TABELA 2.7 - COMPONENTES DE VARIÂNCIAS E ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS DA ANÁLISE CONJUNTA DE TODOS OS LOCAIS E AVALIAÇÕES REALIZADAS AOS 16 E 27 MESES DE IDADE PARA O CARÁTER SEVERIDADE DA CLB DAS PROGÊNIES DE <i>Eucalyptus benthamii</i>	97

TABELA 2.8 - COMPONENTES DE VARIÂNCIAS E ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS DA ANÁLISE CONJUNTA DE TODOS OS LOCAIS E AVALIAÇÕES REALIZADAS PARA O CARÁTER SEVERIDADE DA CLB DAS PROGÊNIES DE <i>Eucalyptus benthamii</i>	97
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	17
2	OBJETIVOS.....	19
2.1	OBJETIVO GERAL.....	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	20
3.1	GÊNERO <i>Eucalyptus</i>	20
3.2	<i>Eucalyptus benthamii</i> Maiden et Cambage.....	22
3.3	IMPACTO DA MANCHA FOLIAR CAUSADA POR <i>Calonectria</i> EM ESPÉCIES FLORESTAIS.....	24
3.4	MELHORAMENTO GENÉTICO DO EUCALIPTO.....	27
3.5	MELHORAMENTO VISANDO A RESISTÊNCIA A DOENÇAS.....	28
3.6	ESTIMATIVA DE PARÂMETROS GENÉTICOS.....	31
3.6.1	Herdabilidade e acurácia	31
3.6.2	Ganhos por seleção.....	33
3.6.3	Impacto dos sistemas reprodutivos na seleção.....	34
3.6.4	Interação genótipo x ambiente.....	36
3.7	MODELOS MISTOS.....	37
	REFERÊNCIAS.....	39

CAPÍTULO I

ETIOLOGIA E SELEÇÃO FENOTÍPICA PARA RESISTÊNCIA À MANCHA DE <i>Calonectria</i> EM <i>Eucalyptus benthamii</i>.....		49
	RESUMO.....	49
	ABSTRACT.....	50
1	INTRODUÇÃO.....	51
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	53
2.1	CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS E MATERIAL GENÉTICO.....	53
2.2	ETIOLOGIA DA MANCHA FOLIAR DE <i>Calonectria</i> EM <i>Eucalyptus benthamii</i>	54

2.2.1	Amostragem da doença em campo e obtenção dos isolados de <i>Calonectria</i> em progênies de <i>Eucalyptus benthamii</i>	54
2.2.2	Culturas monospóricas e conservação dos isolados.....	55
2.2.3	Extração de DNA e amplificação.....	56
2.2.4	Análises filogenéticas.....	57
2.2.5	Caracterização morfológica de isolados de <i>Calonectria</i>	57
2.2.6	Teste de patogenicidade.....	58
2.3	RESISTÊNCIA DE <i>Eucalyptus benthamii</i> À MANCHA FOLIAR DE <i>Calonectria</i>	61
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
3.1	ETIOLOGIA DA MANCHA FOLIAR DE <i>Calonectria</i> spp. EM <i>Eucalyptus benthamii</i>	62
3.1.1	Análises filogenéticas.....	64
3.1.2	Caracterização morfológica.....	66
3.1.3	Patogenicidade.....	67
3.2	AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À MANCHA FOLIAR EM <i>Eucalyptus benthamii</i>	69
4	CONCLUSÕES	73
	REFERÊNCIAS	74

CAPÍTULO II

RESISTÊNCIA GENÉTICA À MANCHA FOLIAR DE <i>Calonectria metrosideri</i> E <i>Calonectria spathulata</i> EM PROGÊNIES <i>Eucalyptus benthamii</i> NO SUL DO BRASIL		79
	RESUMO.....	79
	ABSTRACT.....	80
1	INTRODUÇÃO	81
2	MATERIAL E MÉTODOS	84
2.1	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS.....	84
2.2	METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA DOENÇA.....	85
2.3	ANÁLISES ESTATÍSTICO-GENÉTICAS DOS DADOS.....	85

2.3.1	Análises de variância individual: por local e por período de avaliação.....	85
2.3.2	Análises de variância conjunta para os locais: por período de avaliação.....	86
2.3.3	Análises de variância conjunta para os locais: todos os períodos de avaliações.....	86
2.4	CORREÇÕES RELATIVAS AO SISTEMA MISTO DE REPRODUÇÃO.....	87
2.5	ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS E COMPONENTES DE VARIÂNCIA.....	88
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	91
3.1	ANÁLISES INDIVIDUAIS.....	91
3.2	ANÁLISES CONJUNTAS ENVOLVENDO TODOS OS LOCAIS.....	96
3.3	SELEÇÃO GENÉTICA.....	99
4	CONCLUSÕES.....	100
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	100
	REFERÊNCIAS.....	102
	REFERÊNCIAS GERAIS.....	107
	APÊNDICES.....	121

1 INTRODUÇÃO GERAL

A produção real das culturas, sejam elas agrícolas ou florestais, em geral, tem estado abaixo do seu potencial, em razão de inúmeras limitações impostas, que podem ser de origem genética, ambiental e, ou da interação entre elas. Estresses bióticos, como a incidência de doenças em plantas, são fatores muito importantes e devem ser considerados por influenciar negativamente na evolução da produtividade dos plantios florestais.

Os plantios de eucalipto ocupam 5,7 milhões de hectares da área de árvores plantadas no Brasil, com produtividade média de $35,7 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ ao ano (IBÁ, 2017). Dentre as espécies do gênero que se destacam está o *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage, recomendado para plantios na região Sul do País, devido a ocorrência frequente de geadas severas. A qualidade da madeira de *E. benthamii* indica uso potencial da espécie como lenha, carvão e celulose, não sendo ainda aconselhado para serraria em virtude das rachaduras do topo das toras e tábuas, além do empenamento durante a secagem (HIGA; PEREIRA, 2003).

Uma das principais doenças que ocorre no gênero *Eucalyptus* e que pode ser um fator redutor da produtividade é a mancha foliar e desfolha provocada pelos fungos do gênero *Calonectria* (anamorfo *Cylindrocladium*). Esses fungos ocasionam lesões nas folhas do hospedeiro e com o progresso da doença, a mesma pode induzir acentuada desfolha nos terços basais, medianos e apical das copas das árvores, a partir do primeiro ano de plantio. Eles sobrevivem como escleródios em tecidos de plantas infectadas e se disseminam no campo por meio de respingos de chuva com solo contendo inóculo, para folhas e ramos do terço inferior da copa das árvores (FERREIRA, 1989; ALFENAS et al., 2009).

O gênero *Calonectria* inclui um grupo de patógenos comumente encontrados em regiões tropicais e subtropicais (CROUS, 2002). São patógenos que podem infectar e causar perdas econômicas em plantações florestais, agrícolas e hortícolas (HIROOKA et al., 2008; LOMBARD et al., 2009; POLIZZI et al., 2012). Segundo Chen et al. (2013), as árvores severamente afetadas por esse fungo sofrem uma redução óbvia no vigor do crescimento, o que resulta em grandes perdas econômicas e ameaça a sustentabilidade de longo prazo da indústria de eucalipto. Estima-se que

em Fujian, na China, as perdas econômicas anuais devidas ao gênero *Calonectria* em eucalipto sejam superiores a 7,8 milhões de dólares (ZHU et al., 2011).

A ocorrência desses patógenos tornou-se bastante expressiva em plantios de *E. benthamii* no Sul do Brasil. Além de *Calonectria candelabra* (*Cylindrocladium candelabrum*) constatada por Schultz et al. (2015), não se tem muitas informações na literatura acerca das espécies de *Calonectria* que podem estar associadas à mancha em *E. benthamii*. Conhecer o patógeno e quantificar os sintomas por ele causados é o primeiro passo para descrever o progresso da epidemia e tomar medidas de controle.

A demanda por material vegetal para o plantio de *E. benthamii* em regiões frias do país e a falta de genótipos resistentes à doença selecionados geneticamente exigem medidas imediatas. Um método comum e eficaz para iniciar um programa de melhoramento genético é a seleção fenotípica, bastante utilizada no melhoramento vegetal devido a sua praticidade, baixo custo e rapidez. Esse tipo de seleção leva em consideração apenas a performance visual do indivíduo, consistindo na escolha dos melhores indivíduos com base no seu valor fenotípico para as características de interesse (PIRES et al., 2011).

Outra seleção mais eficaz pode ser realizada quando se considera não apenas os valores fenotípicos dos indivíduos, mas, também, as médias de suas progênes e, ou, de seus irmãos. Fazer o melhor uso de tais informações combinadas requer conhecimento de parâmetros genéticos, especialmente variação genética, herdabilidade, e, por extensão, a interação genótipo x ambiente (MIRANDA et al., 2013). A seleção de genótipos resistentes tem sido o método mais eficaz e econômico para controlar a mancha-de-calonectria (CLB) no campo (ALFENAS et al., 2009; FONSECA et al., 2010).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Caracterizar a etiologia da mancha foliar em testes de progênies de *Eucalyptus benthamii* e avaliar o controle genético da doença, a fim de selecionar indivíduos resistentes como suporte para condução de futuros programas de melhoramento genético florestal.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar os agentes causais da doença;
- Avaliar a resistência à mancha foliar por meio da incidência e severidade da doença em campo;
- Estimar os parâmetros genéticos da resistência à mancha foliar;
- Corrigir as herdabilidades com base no sistema misto de reprodução;
- Avaliar a interação genótipo-ambiente;
- Ordenar e selecionar genótipos candidatos à seleção quanto a menor suscetibilidade à doença.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 GÊNERO *Eucalyptus*

Os eucaliptos são quase uma marca definidora da Austrália. Nativos desse país, supõe-se que várias espécies migraram por pontes terrestres para ilhas ao norte do continente, sendo considerado, atualmente, a árvore dominante das áreas desenvolvidas, embora escassamente representado nas regiões mais secas do país. Existem mais de 800 espécies que se adaptaram a quase todos os ambientes (BROOKER et al., 2017).

Embora os eucaliptos tenham sido vistos pelos primeiros exploradores e colecionadores europeus, foi em 1777 que o botânico David Nelson recolheu um eucalipto na Ilha Bruny, no sul da Tasmânia, tendo levado esse espécime ao British Museum em Londres, onde foi nomeado *Eucalyptus obliqua* L'Hér. pelo botânico francês Charles-Louis L'Héritier, que trabalhava em Londres na época. Ele deu o nome genérico das raízes gregas “eu” e “calyptos”, que significa “bem” e “coberto”, em referência ao opérculo do botão floral (órgão que protege as estruturas reprodutivas durante o seu desenvolvimento). O nome “obliqua” foi derivado do latim *obliquus*, que significa “oblíquo”, descrevendo uma base de folhas onde os dois lados da lâmina da folha são de comprimento desigual e não cumprem o pecíolo no mesmo local (BROOKER et al., 2017).

O gênero *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae e subfamília Leptospermoideae. O subgênero *Symphyomyrtus* é o grupo que apresenta maior parte das espécies cultivadas no mundo, apresentando nove seções, das quais três contém praticamente todas as espécies mais cultivadas: Seção Transversaria/Latoangulata (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden; *Eucalyptus saligna* Smith, *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake); Seção Exsertaria (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn, *Eucalyptus exserta* F. Muell., *Eucalyptus tereticornis* Sm.) e Seção Maidenaria (*Eucalyptus globulus* Labill, *Eucalyptus viminalis* Labill e *Eucalyptus nitens* (H. Deane & Maiden) Maiden) (PRYOR, 1976).

No Brasil, a introdução do gênero com viés econômico para o país foi devida à Companhia Paulista de Estradas de Ferro e ao trabalho do grande silvicultor Edmundo Navarro de Andrade. Nos anos de 1905 a 1915, Navarro de Andrade realizou a introdução e avaliação de 144 espécies de *Eucalyptus* oriundas da Austrália e região

visando à identificação das espécies mais promissoras (ANDRADE, 1991). Atualmente, as espécies mais utilizadas em programas de melhoramento genético no país são *E. grandis* e *E. urophylla*, e respectivamente o híbrido entre elas, pois apresentam ampla adaptação às diferentes condições edafoclimáticas brasileiras (BERTOLUCCI; REZENDE; PENCHELL, 1993). Hoje, os plantios de eucalipto em solo brasileiro representam 5,7 milhões de hectares de um total de 7,84 milhões de florestas plantadas. A indústria florestal brasileira é mundialmente reconhecida pela alta produtividade de suas áreas plantadas, na qual, em 2016, liderou o “ranking” global de produtividade florestal, com média de 35,7 m³ha⁻¹ ao ano para os plantios de eucalipto (IBÁ, 2017). A elevada produtividade é em função, principalmente, do manejo realizado nas florestas e do melhoramento genético das populações do gênero.

Contudo, apesar de todos os avanços no cultivo do eucalipto, existem certas limitações de sua expansão na região Sul do Brasil, principalmente devido à ocorrência de temperaturas mais baixas e geadas frequentes (NISGOSKI; MUÑIZ; KLOCK, 1998). As espécies de eucalipto economicamente importantes para as condições mais frias do Brasil constituem um grupo muito restrito, no qual, encontra-se *E. benthamii*, *E. dunnii* Maiden, *E. saligna*, *E. grandis* e o híbrido entre *E. benthamii* x *E. dunnii*. Esses apresentam boa aptidão para a produção de madeira para fins energéticos e/ou sólidos madeiráveis. Deve-se considerar, também, um segundo grupo de espécies formado por *E. viminalis*, *E. camaldulensis*, *E. cloeziana* (F. Muell), *E. badjensis* Beuzev. & Welch, e *Corymbia citriodora* (Hook.) K. D. Hill & L. A. S. Johnson economicamente importantes para as condições mais frias (PALUDZYSZYN FILHO; SANTOS; FERREIRA, 2006).

O gênero tem sido extensivamente plantado por apresentar rápido crescimento, alta produtividade, diversidade de espécies e grande capacidade de adaptação (MORA; GARCIA, 2000). As árvores plantadas de eucalipto abastecem diferentes segmentos industriais e oferecem muito mais do que celulose, papel, painel de madeira, piso laminado e carvão vegetal. Com potencial para ser fonte de mais de cinco mil produtos e subprodutos inovadores originários da madeira, no futuro as árvores plantadas abastecerão outras indústrias, como farmacêutica, química, cosmética, aeronáutica, têxtil, alimentícia, eletrônica e automobilística (IBÁ, 2017).

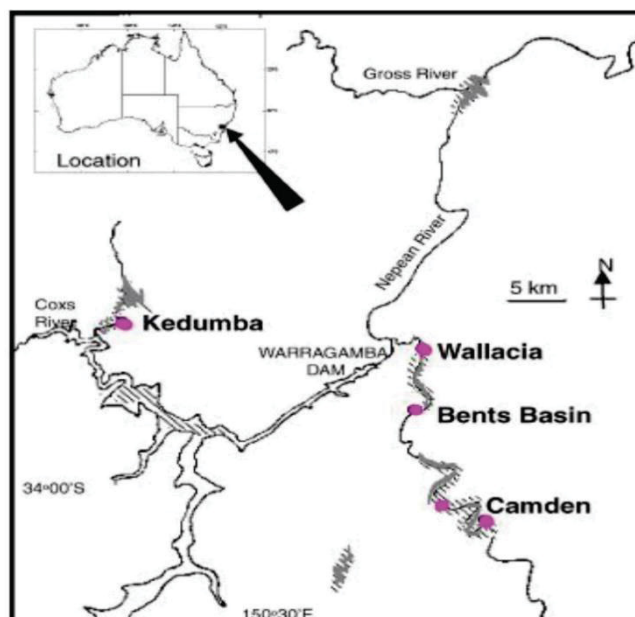
3.2 *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage

Também conhecido como “Camden White Gum” em seu local de origem, o *E. benthamii* é proveniente da Austrália e possui um *habitat* restrito aos bancos aluviais dos rios Kedumba, Cox e Nepean, numa altitude que varia de 140 a 750 m, na costa leste do estado de Nova Gales do Sul (NSW National Parks and Wildlife Service, 2000). Existem duas subpopulações principais da espécie que estão localizadas no Vale do Kedumba, no Blue Mountains National Park; e na área de conservação – Bents Basin, mas algumas árvores estão dispersas entorno de Camden ao longo das margens do rio Nepean. Grandes áreas do habitat natural da espécie foram inundadas pela formação da barragem de Warragamba em 1933 e, atualmente, o *status* de conservação da espécie em Nova Gales do Sul é considerado vulnerável à extinção (OEH, 2017).

A vulnerabilidade do *E. benthamii* é resultante do desmatamento, desenvolvimento urbano, regimes de fogo inapropriados, hidrologia alterada e invasão de plantas daninhas (OEH, 2017). Segundo Benson (1985), três incêndios ocorridos desde 1933 afetaram diferentes partes da população Bents Basin, causando queima da copa em árvores de 40 m de altura da espécie. Ameaças adicionais incluem o impacto da fragmentação do *habitat* na diversidade genética do *E. benthamii*, tendo como efeito direto e indireto, a perda de alelos e a redução do fluxo gênico dentro e entre populações, o que leva a uma maior endogamia (BUTCHER; SKINNER; GARDINER, 2005).

Levantamentos recentes apontam que a espécie está confinada a uma população de 6.500 árvores no Vale do Kedumba e três populações remanescentes (FIGURA 1.1) ao longo do rio Nepean: a população Bents Basin que consiste em aproximadamente 300 árvores; Wallacia (nove árvores) e Camden com cerca de 30 árvores (BUTCHER; SKINNER; GARDINER, 2005), resultando em populações isoladas dentro de um habitat fragmentado (NSW National Parks and Wildlife Service, 2000).

FIGURA 1.1 – LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA OCORRÊNCIA NATURAL DE *Eucalyptus benthamii* NA REGIÃO DE NOVA GALES DO SUL – AUSTRÁLIA



FONTE: Adaptada de BUTCHER; SKINNER; GARDINER (2005).

Diante da distribuição restrita em seu local de origem, mas ainda com diversidade genética, parte do “pool gênico” de *E. benthamii* pode ser mantido por meio do uso do material em programas de melhoramento genético. Áreas de Produção de Sementes (APS), Pomar de Sementes por Mudanças (PSM) e Testes de Progenies (TP) da referida espécie em locais que estão fora do seu *habitat* natural são um importante método de conservação da variabilidade genética.

A partir de observações de plantios da espécie principalmente fora da Austrália, Jovanovic e Both (2002) refizeram os limites climáticos desta espécie que mostra uma maior área favorável para seu desenvolvimento. O *E. benthamii* se desenvolve bem em regiões com temperatura média anual de até 14,5°C (SWAIN, 1997) e requer um mínimo de 800 mm de precipitação anual em regiões mais frias, mas requer quantidades superiores em regiões mais quentes (SILVA; HIGA; SANTOS, 2012). No Brasil, a espécie é considerada a principal do gênero *Eucalyptus* recomendada para plantios na região Sul do país, onde há ocorrência de geadas severas, especialmente após as geadas do ano 2000, quando plantios experimentais mostraram níveis de danos inferiores aos de outras espécies até então recomendadas, como *E. dunni* e *E. viminalis* (SANTAROSA; PENTEADO JÚNIOR; GOULART, 2014).

A população base da espécie em solo brasileiro foi implantada pela Embrapa Florestas em 1988, em Colombo, Paraná, a partir de sete árvores de polinização aberta da procedência Wentworth Falls – NSW, Austrália. Esse plantio constituiu uma APS. Essa APS deu origem a outras e, após esse período, novas iniciativas de introdução de materiais genéticos para o desenvolvimento de programas de melhoramento foram realizadas por diversas instituições públicas e privadas de pesquisa (SILVA; HIGA; SANTOS, 2012).

A qualidade da madeira de *E. benthamii* indica uso potencial da espécie como lenha, carvão e celulose, não sendo ainda aconselhado para serraria em virtude das rachaduras do topo das toras e tábuas, além do empenamento durante a secagem (HIGA; PEREIRA, 2003). Silva (2008) discutiu as potencialidades de melhorar geneticamente algumas das características relacionadas à qualidade da madeira serrada de *E. benthamii*. Resultados disponíveis das poucas pesquisas indicam que tecnicamente isso é possível, sendo necessários maiores investimentos em pesquisas. Outras características podem ser foco em programas de melhoramento, como, por exemplo, a resistência a doenças, por meio da identificação de materiais genéticos resistentes. Estudos voltados para detectar a potencialidade de melhorar geneticamente características de resistência à mancha foliar no *E. benthamii* fazem-se necessários e imprescindíveis.

3.3 IMPACTO DA MANCHA FOLIAR CAUSADA POR *Calonectria* sp. EM ESPÉCIES FLORESTAIS

O sucesso dos plantios florestais deve-se à diversos fatores, sendo a fitossanidade um dos mais importantes a ser mencionados, uma vez que os plantios estão sujeitos aos vários tipos de estresses bióticos e abióticos que podem causar danos e afetar o crescimento e a produtividade das árvores (SOARES et al., 2017). As plantas, assim como qualquer organismo vivo, estão sujeitas ao ataque de agentes bióticos ou infecciosos (patógenos) que se multiplicam nas mesmas, de modo a interferir em seus processos fisiológicos normais, ou seja, causar doença.

Fatores como a expansão das plantações em regiões de clima quente e úmido; o plantio monoclinal de genótipos mais produtivos sem o prévio conhecimento de sua resistência ao ataque de patógenos; e os ciclos sucessivos da cultura numa

mesma área de plantio, favorecem a ocorrência de várias doenças na eucaliptocultura (ALFENAS et al., 2009). Uma das principais doenças que acomete o gênero *Eucalyptus* é a mancha foliar e desfolha provocada pelos fungos do gênero *Cylindrocladium* (FERREIRA, 1989), atualmente relatado na literatura em sua forma perfeita *Calonectria*. Por muitos anos, esses fungos foram mais conhecidos pelo gênero *Cylindrocladium* associados com doenças de plantas importantes (CROUS; WINGFIELD, 1994; CROUS, 2002; LOMBARD et al., 2010). Seguindo a convenção de que apenas um nome científico deve ser usado para uma espécie de fungo (HAWKSWORTH, 2011; HAWKSWORTH, 2012; HAWKSWORTH et al., 2011), *Calonectria* foi escolhida (ROSSMAN et al., 2013) a fim de resolver a confusão sobre seus nomes (WINGFIELD et al., 2012).

O gênero *Calonectria*, introduzido pela primeira vez em 1867 (ROSSMAN, 1979), tem sido objeto de numerosos estudos taxonômicos desde a década de 1990 (CROUS; WINGFIELD, 1994; CROUS, 2002; LOMBARD et al., 2010; LOMBARD et al., 2015; ALFENAS et al., 2015). Esses estudos resultaram no reconhecimento de pelo menos 116 espécies que têm surgido principalmente devido à introdução de dados de sequência de DNA e subsequente inferência filogenética, permitindo a delimitação de numerosos táxons previamente não reconhecidos.

Espécies de *Calonectria* são amplamente distribuídas em todo o mundo e causam doenças em uma ampla gama de plantas hospedeiras em climas tropicais e subtropicais (CROUS, 2002; LOMBARD et al., 2010; VITALE et al., 2013). Esses fungos têm sido relatados como agentes patogênicos em diversas culturas, inclusive florestais, tais como *Pinus* sp. e *Acacia* sp. (HODGES; MAY, 1972; HODGES; REIS; MAY, 1973; ALFENAS, 1986; DIANESE et al., 1986; LOMBARD et al., 2009; NOVAES et al., 2012) e, em particular, no gênero *Eucalyptus*, associados às doenças em plantios comerciais e em mudas nos viveiros (FERREIRA et al., 2012; CHEN et al., 2013a; ALFENAS et al., 2013; SCHULTZ et al., 2015; REZENDE et al., 2017; LI et al., 2017; YE et al., 2018).

A mancha-de-calonectria (CLB) tem sido observada no Brasil desde 1973, distribuindo-se da Amazônia até os estados do Sul (SANTOS; AUER; GRIGOLETTI JR., 2001). A colonização e a desfolha causada pela mancha reduzem a área fotossintética e o crescimento das plantas, além de favorecer a infestação de mato competição no talhão desfolhado (ALFENAS et al., 2009). Os maiores índices de desfolha em eucalipto causada pelo fungo ocorrem no norte do país, em função das

condições de temperatura elevada e períodos prolongados de chuva (ALFENAS, 1986).

Os sintomas causados por estes fungos incluem, principalmente, tombamento de mudas ("damping off"), podridão de raízes, cancro, queima de brotos, manchas foliares e desfolha (ALFENAS et al., 2009; LI et al., 2017). Os sintomas da mancha foliar no eucalipto causados por espécies de *Calonectria* são bem marcantes e observados em dimensões variáveis e de diferentes tonalidades de marrom. Esses sintomas variam de acordo com o hospedeiro, a idade do hospedeiro e a espécie do patógeno (CROUS, 2002). Segundo Alfenas et al. (2009), as lesões iniciam-se na base, no ápice ou nas margens das folhas e, com o progresso da doença, essas lesões tomam grandes proporções do limbo foliar, ocasionando intensas desfolhas no primeiro ano de plantio. De acordo com Crous (2002), uma ou duas semanas após a ocorrência da doença, patógenos menos virulentos ou saprófitas normalmente colonizam o tecido morto, podendo confundir aqueles que tentam o reisolamento do organismo causal.

Como a maioria das identificações das espécies do gênero *Calonectria* baseavam-se em características morfológicas, Alfenas et al. (2015) identificaram e determinaram as relações filogenéticas entre as espécies que ocorrem em regiões de crescimento de eucalipto no Brasil. Como resultado desse extenso trabalho, tem-se que o complexo *Ca. pteridis* é o complexo de espécies mais comuns presentes nas plantações de eucaliptos no Brasil, dessa forma, *Ca. pteridis* é considerada o agente causal mais importante da mancha foliar de *Eucalyptus* em todo o Brasil. Além disso, 20 novas espécies de *Calonectria* foram identificadas.

Não tem sido observada na literatura a morte de plantas em virtude da CLB. No entanto, essa doença provoca sérios danos e, conseqüentemente, diminui a produtividade do plantio. As perdas em virtude de doenças causadas por *Calonectria* spp. são relatadas em diversos países do mundo, como Brasil, Camarões, Costa Rica, Índia, Malásia, Cingapura, África do Sul, Venezuela e Estados Unidos (ALFENAS, 1986; CROUS, 2002). Dentre as espécies de *Calonectria*, *C. pseudoreteauidii* é a primeira espécie desse gênero encontrada na província de Fujian, na China, sendo também uma das espécies mais amplamente distribuídas e agressivas nessa região (CHEN et al., 2013b). Estima-se que as perdas econômicas anuais devidas a esse fungo sejam superiores a 7,8 milhões de dólares somente em Fujian (ZHU et al., 2011).

Matrangolo et al. (2010) avaliaram o efeito do desfolhamento artificial sobre o crescimento de *E. grandis* e constataram que, ao longo do primeiro ano de cultivo, o desfolhamento causou reduções significativas nas taxas de crescimento em diâmetro e em altura das plantas, bem como diminuição expressiva no faturamento ao final da rotação, mesmo quando realizado uma única vez no início do plantio. Pires (2000) também avaliou o crescimento de *E. grandis* submetido a diferentes intensidades de desrama aos 11 meses de idade e verificou que o crescimento das plantas em diâmetro e em altura foi afetado negativamente após 10 meses da aplicação dos tratamentos. Além disso, constatou redução de 26,7% em diâmetro, 28,0% em altura e 45,0% em volume aos 92 meses de idade das plantas, quando se comparou o controle com a desrama de 75% da copa viva. Milgate et al. (2005) constataram que o dano de *Mycosphaerella nubilosa* (Cooke) Hansf. teve um efeito deletério sobre o crescimento das árvores de *E. globulus*, tanto ao nível fenotípico como genético.

Devido às perdas potenciais associadas à CLB em plantações de eucalipto, são necessárias medidas de controle para reduzir o dano da mancha. O plantio de genótipos resistentes é considerado o método mais efetivo e econômico para controle de doenças no campo (CROUS, 2002; ALFENAS et al., 2009).

3.4 MELHORAMENTO GENÉTICO DO EUCALIPTO

O melhoramento genético do eucalipto recebe os maiores investimentos nas empresas de base florestal voltadas à fabricação de celulose e papel. Tais programas têm como objetivo geral incrementar os ganhos genéticos nas características tecnológicas desejadas. Em outras palavras, esses programas têm como objetivo aumentar a frequência dos alelos favoráveis relacionados com as características de interesse econômico (MELETTI; SANTOS; MINAMI, 2000). De acordo com Resende et al. (2014), além da produtividade volumétrica, as propriedades tecnológicas da madeira são características essenciais nos programas de melhoramento genético atuais. Outras características essenciais na silvicultura industrial são a adaptação, forma da árvore, a quantidade e distribuição de galhos, a bifurcação, a resistência a pragas, doenças e seca e, em algumas situações, resistência ao vento, frio e às geadas.

O melhoramento do eucalipto no Brasil iniciou-se com o pesquisador Edmundo Navarro de Andrade da Companhia Paulista de Estradas de Ferro, em São Paulo, a

partir de 1904. Navarro de Andrade introduziu diversas espécies e procedências de eucalipto no Horto de Jundiaí, com objetivo de identificar as melhores espécies adaptadas às condições climáticas brasileiras visando ao fornecimento de combustível e madeira para dormentes e postes para ferrovia (FERREIRA; SANTOS, 1997; SILVA; BARRICHELLO, 2006).

Plantios clonais de *Eucalyptus* deslancharam a partir da década de 70, quando a heterogeneidade dos plantios e a incidência de cancro foram decisivas para o desenvolvimento da técnica de estaquia (enraizamento de estacas) em escala operacional (XAVIER; SILVA, 2010). No período de 1960 a 1980, foram realizados testes de espécies e procedências; subsequentemente, intensificaram-se os testes de progênies e os programas de Seleção Recorrente Intrapopulacional (SRI) (KAGEYAMA, 1980; KAGEYAMA; VENCOSKY, 1983). Na área florestal, o método de seleção recorrente é o mais utilizado, sendo entendido como um processo cíclico de melhoramento em que há seleção seguida da recombinação dos melhores indivíduos e ou famílias.

A partir de 1990, programas intensivos de hibridação foram implementados e, em 2000, iniciaram-se os programas de Seleção Recorrente Recíproca (SRR) para o melhoramento do híbrido entre espécies divergentes, especialmente entre *E. urophylla* x *E. grandis* (FONSECA et al., 2010). Essa estratégia pode ser considerada como a espinha dorsal do programa e envolve populações de espécies puras principais ou populações sintéticas complementares para a geração de híbridos simples e, ou compostos, por meio de cruzamentos interespecíficos e ou interpopulacionais (PIRES et al., 2011).

Verifica-se que as características de interesse no melhoramento do eucalipto se encontram em diferentes espécies, as quais são particularmente adaptadas a determinadas condições climáticas peculiares. Sendo assim, o grande desafio do melhorista é desenvolver genótipos com todas essas características desejáveis e adaptados às condições do local de plantio (FONSECA et al., 2010).

3.5 MELHORAMENTO VISANDO RESISTÊNCIA A DOENÇAS

Os patógenos atualmente descritos representam apenas uma pequena fração da variabilidade existente na natureza. Dentre esses, apenas alguns são capazes de infectar uma dada espécie de planta hospedeira, e mesmo dentro dessa espécie, nem

todos os genótipos são suscetíveis. O confronto entre o sistema de defesa da planta e de patogenicidade do patógeno pode resultar em resistência ou suscetibilidade (LAU et al., 2007). Segundo Bueno, Mendes e Carvalho (2006), o uso de materiais genéticos resistentes é o processo mais eficaz no controle de doenças das plantas, quando comparado com outros métodos que envolvem despesas que aumentam o custo de produção, como o uso de fungicidas ou bactericidas.

Foi Biffin, em 1905, quem primeiro relatou o modo de herança da resistência a *Puccinia striiformis*, causadora da ferrugem amarela em trigo. Anos mais tarde, Flor estudou não apenas o hospedeiro, mas também o patógeno e chegou à conclusão que uma parte da variação observada em resistência entre plantas de uma espécie vegetal se deve a variações no patógeno (PATAKY; CARSON, 2010). A partir desses estudos demonstrou-se que, para cada gene de resistência no hospedeiro existe um que corresponde à virulência no patógeno. Essa interação é conhecida como teoria da interação gene a gene e diz que, se existe um gene de resistência no hospedeiro, específico para determinada raça fisiológica do patógeno, essa não será capaz de lhe causar infecção, pois o cultivar é resistente àquela raça específica do patógeno e esse, por sua vez, é avirulento (BORÉM; MIRANDA, 2013).

O procedimento indicado na estratégia de melhoramento florestal visando à resistência a doenças, assumindo o caráter quantitativo da mesma, é o uso da seleção recorrente combinada com a inoculação artificial para seleção de indivíduos resistentes. Lau et al. (2007) também destacam o uso da biotecnologia no campo da resistência a doenças por meio da identificação de genes do sistema de defesa da planta, de forma a subsidiar o desenvolvimento de estratégias para acelerar a incorporação de resistência em genótipos comerciais, como também disponibilizar fontes alternativas de resistência via manipulação gênica.

O gênero *Eucalyptus* possui grande quantidade de espécies, e nelas se encontra variabilidade intra e interespecífica para resistência a doenças, o que permite a seleção de materiais resistentes em espécies puras e, também, o desenvolvimento de híbridos interespecíficos resistentes (SCHUMACHER; VIEIRA, 2015). Ressalta-se que, para se ter maior eficiência na produção de árvores com maior potencial de resistência às enfermidades, é necessário desenvolver programas de seleção de genitores resistentes, de forma a realizar a introgressão de genes de resistência nas populações de melhoramento (ASSIS; ABAD; AGUIAR, 2016). Entre a imunidade e a completa suscetibilidade, os indivíduos podem manifestar reações intermediárias,

desta forma, diversos programas de melhoramento utilizam escalas numéricas para classificar as reações dos genótipos aos patógenos, sendo, normalmente, a menor nota correspondente à imunidade e a maior nota, à suscetibilidade (BORÉM; MIRANDA, 2013).

Van der Plank (1968, 1984), definiu dois tipos de resistência. São elas, a do tipo vertical ou raça específica e a do tipo horizontal ou resistência geral, ou ainda, resistência não raça-específica. A resistência vertical caracteriza-se quando o hospedeiro é mais resistente a alguma(s) raça(s) do patógeno do que a outras. Nesse caso, ocorre interação diferencial na relação hospedeiro e patógeno. Quando o hospedeiro é igualmente resistente a todas as raças, a resistência denomina-se horizontal e não ocorre interação diferencial.

De acordo com Bueno, Mendes e Carvalho (2006), a resistência horizontal é comumente denominada resistência de campo, sendo controlada por muitos genes que se complementam. A resistência condicionada por diversos genes é dita poligênica, no entanto, envolve menos genes que outras características herdadas de modo poligênico, tal como a produtividade. A maioria dos experimentos estima que os números de *locus* que controlam a resistência poligênica são menos de 10 e comumente de dois a quatro. Em populações segregando para a resistência poligênica, as reações de doenças exibem variação contínua (PATAKY; CARSON, 2010).

A resistência é dita monogênica ou oligogênica quando é condicionada por um único gene ou por poucos genes, respectivamente. No caso das duas, os fenótipos podem ser colocados em categorias distintas que podem ser adequadas às relações mendelianas (PATAKY; CARSON, 2010). A resistência vertical é comumente controlada por um ou poucos genes, com efeito individual de fácil identificação (BUENO; MENDES; CARVALHO, 2006).

A resistência às doenças é um dos fatores mais importantes que contribuem para a estabilidade de longo prazo da produção de cultivos. Na agricultura, as cultivares resistentes à maioria das doenças estão entre as maiores realizações dos melhoristas de plantas e fitopatologistas do século passado e continuará a exercer um papel fundamental no sucesso da agricultura no século XXI (PATAKY; CARSON, 2010). Na área florestal, a busca por materiais genéticos resistentes também tem seu lugar de destaque, sendo um dos fatores influentes no alcance de uma produtividade melhor e mais estável.

3.6 ESTIMATIVA DE PARÂMETROS GENÉTICOS

Espécies florestais como os eucaliptos são caracterizadas pela perenidade, ou seja, apresentam ciclo de vida longo. Segundo Resende et al. (2001), em termos de melhoramento genético, tal aspecto leva à utilização do material genético selecionado para produção comercial por vários anos, o que demanda rigor e precisão nos métodos de seleção, além de haver redução na taxa de sobrevivência dos experimentos durante sua vida útil, fato que tende a gerar dados desbalanceados para uso na estimação de parâmetros genéticos e na predição dos valores genéticos aditivos e genotípicos.

Os parâmetros genéticos são estimados para verificar se existe variabilidade genética, tornando-se imprescindível em um programa de melhoramento que a variabilidade seja suficiente para possibilitar a seleção dos materiais superiores e o ganho genético (PIRES et al., 2011). O principal uso das estimativas de parâmetros genéticos, além de subsidiar o planejamento de eficientes estratégias de melhoramento, está na própria predição de valores genéticos. Atualmente, o procedimento analítico padrão recomendado para os estudos em genética quantitativa e também para a prática da seleção em plantas perenes é o método REML/BLUP, isto é, a estimação de componentes da variância por máxima verossimilhança restrita (REML) e a predição de valores genéticos pela melhor predição linear não viciada (BLUP) (RESENDE et al., 2001).

Os parâmetros genéticos que mais interessam aos melhoristas e que são frequentemente visados nos estudos envolvendo progênies se referem, segundo Robinson e Cockerham (1965), às variâncias genéticas em suas componentes aditivas e não aditivas, ao coeficiente de herdabilidade tanto no sentido amplo como restrito, às interações dos efeitos genéticos e ambientais e às correlações genéticas entre características.

3.6.1 Herdabilidade e acurácia

A herdabilidade é uma das propriedades mais importantes de uma característica quantitativa. Ela expressa a proporção da variância total que é atribuída aos efeitos médios dos genes (FALCONER, 1987). O conceito de herdabilidade e sua definição como um parâmetro de população estimável e adimensional foi introduzido

por Sewall Wright e Ronald Fisher há quase um século (VISSCHER; HILL; WRAY, 2008). Dada a sua definição, o valor da herdabilidade está sempre entre 0 a 1.

Tratando-se da proporção herdável da variabilidade total, a herdabilidade pode ser no sentido amplo ou restrito. No sentido amplo, é medida a proporção da variância fenotípica que é atribuída à variância genética total; e no sentido restrito, é avaliada a proporção da variância fenotípica que é atribuída à variância aditiva (RESENDE, 2015). De acordo com Van Buijtenen (1992), a herdabilidade no sentido restrito é usada de forma mais adequada para espécies e programas em que há recombinação sexual, pois, os efeitos aditivos são mais importantes. Por outro lado, a herdabilidade no sentido amplo, que inclui toda a variação genética, é mais apropriada para materiais de propagação vegetativa. Desta maneira, os ganhos obtidos por propagação vegetativa são, em geral, muito maiores que os obtidos por propagação sexuada.

Outras herdabilidades podem ser estimadas, como a herdabilidade individual da árvore e a herdabilidade da família. A primeira é baseada em medidas de árvores individuais e é a mais usada; a segunda é baseada nas médias das famílias e quando essas correspondem às médias de famílias de meios-irmãos, a variância genética corresponde a 1/4 da variância aditiva (VAN BUIJTENEN, 1992).

Segundo Visscher, Hill e Wray (2008), existe uma série de equívocos comuns sobre o significado exato e a interpretação da herdabilidade. Herdabilidade não é a proporção de um fenótipo que é genético, mas, sim, a proporção de variância fenotípica que é devida a fatores genéticos. Além disso, trata-se de um parâmetro de população e, portanto, depende de fatores específicos da população, como frequências de alelos, dos efeitos das variantes genéticas e variação por fatores ambientais.

Curiosamente, as herdabilidades não são constantes e podem mudar ao longo do tempo. Esse fato se justifica porque a variação nos valores genéticos, assim como a variação por fatores ambientais e a correlação entre genes e ambiente, podem mudar. A variação genética pode alterar caso as frequências dos alelos se alterem (por exemplo, devido à seleção ou endogamia), se novas variantes entrarem na população (por exemplo, por migração ou mutação), ou se as variantes existentes apenas contribuem para a variação genética após uma alteração no plano genético ou o ambiente. A mesma característica medida ao longo da vida de um indivíduo pode

ter diferentes efeitos genéticos e ambientais que a influenciam, de modo que as variâncias se tornam uma função da idade (WRAY; VISSCHER, 2008).

Um dos entraves para a obtenção de ganhos genéticos mais expressivos no melhoramento de plantas é a baixa acurácia seletiva (PIMENTEL et al., 2014). Esse parâmetro reflete a qualidade das informações e dos procedimentos utilizados na predição dos valores genéticos. Além disso, está associada à precisão da seleção e refere-se à correlação entre valores genéticos preditos e valores genéticos verdadeiros dos indivíduos. Os valores da acurácia seletiva variam de 0 a 1, sendo que, quanto mais próximo da unidade, ou seja, quanto maior o seu valor na avaliação de um indivíduo, maior é a confiança na avaliação e no valor genético predito para o indivíduo (RESENDE; DUARTE, 2007).

3.6.2 Ganhos por seleção

Quando muitas árvores são selecionadas para uma característica particular, como, por exemplo, resistência a doenças, a média do caractere para as árvores selecionadas será diferente da população original. A diferença entre a média da população selecionada e a média da população original é denominada “diferencial de seleção” (VAN BUIJTENEN, 1992), no qual, esse pode ser utilizado no cálculo do ganho genético por seleção.

O ganho genético esperado ou resposta à seleção depende tanto da herdabilidade como da variação genética presente na população, podendo ser influenciado pelo número de indivíduos selecionados por decisão do melhorista. Uma vez que os genitores (diploides) passam para sua progênie uma amostra correspondendo à metade de seus alelos, o valor genético aditivo esperado de uma progênie equivale a média dos valores genéticos aditivos preditos de seus genitores masculino e feminino. Por esse mesmo princípio, a média da população melhorada (geração descendente) equivalerá à média dos valores genéticos aditivos dos indivíduos selecionados, supondo-se a seleção de um mesmo número de machos e de fêmeas e contribuição equitativa de gametas para a geração descendente. O ganho genético pode ser definido como a superioridade (diferença) da população melhorada em relação à população não melhorada (PIRES et al., 2011). A possibilidade da predição dos ganhos obtidos por uma estratégia de seleção constitui-se em uma das principais contribuições da Genética Quantitativa.

3.6.3 Impacto dos sistemas reprodutivos na seleção

Um passo crucial na dinâmica das populações de plantas e que detém um papel importante para o manejo verdadeiramente sustentável de uma floresta é a geração de novos indivíduos capazes de garantir a sobrevivência e manutenção da variabilidade das espécies daquele ambiente ao longo do tempo. Caracterizar essa etapa em termos genéticos tem se tornado de grande relevância no melhoramento de plantas e em estudos de genética de populações para diversos fins.

A composição genética dos descendentes de uma espécie é determinada, em grande parte, pelo seu sistema de reprodução, no qual, esse determina o modo de transmissão de genes de uma geração para outra (BROWN, 1990). Em outras palavras, o sistema de reprodução refere-se a como um indivíduo recombina sua variabilidade genética a cada geração para formar sua descendência (SEBBENN, 2003). Conhecer a forma como as espécies recombina seus genes a cada evento reprodutivo e formam as populações descendentes é de fundamental importância para o delineamento de estratégias para a conservação e uso dessas espécies, permitindo realizar previsões mais realistas sobre tamanhos amostrais para a conservação genética, bem como adotar estratégias mais eficientes de seleção, baseadas no conhecimento do parentesco médio entre plantas dentro de progênes de polinização aberta (MORI et al., 2013).

O gênero *Eucalyptus* possui flores hermafroditas (ou monoclinas) – com órgãos masculinos e femininos na mesma flor, agrupadas em forma de inflorescência, onde ocorrem tanto a fecundação cruzada como a autofecundação (PRYOR, 1976). As flores têm como principais vetores de polinização os insetos, sobretudo himenópteros, dípteros, lepidópteros, coleópteros e hemípteros. Nas áreas de ocorrência natural, pequenos marsupiais e alguns pássaros também são importantes polinizadores (ELDRIDGE et al., 1993).

Do ponto de vista reprodutivo, as plantas podem ser divididas, basicamente, em três grupos: autógamas, quando predominantemente são autopolinizadas; alógamas, são em grande parte de polinização e fecundação cruzada; e há, ainda, aquelas de sistema reprodutivo misto, que praticam tanto a autofecundação quanto a polinização cruzada, simultaneamente, em taxas maiores que 5% em cada tipo (PIRES et al., 2011). Como consequência do sistema de reprodução misto, progênes de polinização aberta podem ser compostas por misturas de indivíduos com diferentes

graus de parentescos, como irmãos de autofecundação, irmãos-completos, meios-irmãos e irmãos de autofecundação e cruzamento (SQUILLACE, 1974; RITLAND, 1989).

Embora a maioria das espécies florestais de importância econômica sejam predominantemente alógamas, espécies de relevância, como o eucalipto, apresentam sistema reprodutivo misto, conforme constatado por Eldridge et al. (1993) para 12 espécies do gênero. Embora esse aspecto tenha sido ignorado por longo tempo, e continua sendo em alguns casos, tem-se verificado que a não consideração do sistema reprodutivo misto conduz a superestimativas do coeficiente de herdabilidade, do tamanho efetivo populacional e dos ganhos genéticos com a seleção (VENCOVSKY et al., 2001; SEBBENN, 2006; TAMBARUSSI et al., 2018), tudo isso em função dos diferentes graus de endogamia dentro de uma população.

Uma árvore de polinização aberta terá descendência verdadeiramente de meios-irmãos quando nenhum deles resultar de autopolinização e quando todos forem filhos de pais diferentes. Quando isso acontece e os pais não são correlacionados ou endogâmicos, a correlação entre todos os pares de descendentes é 0,25 (SQUILLACE, 1974). Segundo esse mesmo autor, quando essas condições não são cumpridas pelos melhoristas de plantas, é provável que a correlação genética média entre os descendentes (coeficiente de parentesco) seja maior que 0,25.

Visando amenizar esse problema, parâmetros do sistema de reprodução, como taxa de autofecundação, taxa de cruzamento e correlação de paternidade, podem ser obtidos por meio de estudos com marcadores moleculares e utilizados para estimar o coeficiente de parentesco, a fim de utilizar essa informação para correções na obtenção dos parâmetros genéticos de progênies de polinização aberta com sistema reprodutivo misto. Segundo Brown (1990), são necessárias estimativas quantitativas dos parâmetros do sistema reprodutivo em populações de plantas para compreender a estrutura genética atual de tais populações e prever sua evolução futura.

A importância de considerar o sistema reprodutivo misto para obter estimativas genéticas e prever ganhos genéticos com a seleção dos melhores indivíduos é evidenciada no trabalho de Tambarussi et al. (2018), em que as estimativas de ganhos genéticos em espécies de *Corymbia* foram reduzidas em relação às estimativas do modelo meio-irmão, levando a erros significativos na seleção de árvores e, ou famílias superiores.

3.6.4 Interação genótipo x ambiente

A manifestação fenotípica em um indivíduo é o resultado da ação genética sob influência do ambiente. Nas pesquisas envolvendo o melhoramento genético, é muito frequente avaliar genótipos em diferentes condições de meio. Nesses casos, em função do maior ou menor grau de adaptabilidade dos indivíduos, surge um elemento a mais na expressão fenotípica do caráter. Esse elemento é um componente devido à interação entre um dado genótipo com uma dada condição (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

Para o melhoramento de plantas, é de grande importância que se conheçam as reações de diferentes materiais genéticos de espécies cultivadas, quando submetidos a ambientes diversos. De acordo com Cruz; Regazzi e Carneiro (2004), esse fato justifica-se porque, no caso da existência de interação, há possibilidades de o melhor genótipo em um ambiente não o ser em outro. Segundo esses mesmos autores, isso dificulta a recomendação de cultivares com ampla adaptabilidade e influencia no ganho de seleção, cabendo ao melhorista avaliar sua magnitude e significância.

Apesar da diversidade de modelos estatísticos comumente empregados para a análise das interações de genótipos com ambientes, um modelo geral, para descrever o comportamento de materiais genéticos submetidos a diferentes ambientes, pode ser apresentado como segue (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992):

$$\bar{Y}_{ij} = M + G_i + A_j + I_{ij} + \bar{E}_{ij}$$

Em que:

- \bar{Y}_{ij} : valor fenotípico médio do caráter Y, medido no material genético i, no ambiente j;
- M : média geral paramétrica dos dados em estudo;
- G_i : efeito do genótipo ou material genético i;
- A_j : efeito do ambiente j;
- I_{ij} : efeito da interação do genótipo i com o ambiente j;
- \bar{E}_{ij} : erro médio associado à observação \bar{Y}_{ij} .

A prática de ensaios de materiais genéticos em mais de um ambiente é um procedimento rotineiro em programas de melhoramento de plantas. Os diferentes

ambientes são proporcionados pela variação simples ou combinada de locais, anos, estações, épocas de plantio, etc. Segundo Allard e Bradshaw (1964), as condições ambientais que contribuem para as interações com os genótipos estão relacionadas a fatores previsíveis e imprevisíveis. No primeiro, incluem-se as variações de ambiente que ocorrem de região para região, dentro da área de distribuição da cultura. Enquadram-se aí as características gerais de clima e solo; aquelas que flutuam de maneira sistemática, como o comprimento do dia e o grau de insolação; e as práticas silviculturais, tais como a época de semeadura e colheita e as doses e fórmulas de adubação. Os fatores imprevisíveis compreendem, por exemplo, as climáticas, no âmbito de uma mesma região, como a quantidade e distribuição de chuva, as oscilações de temperatura e outras que não podemos prever com segurança. Dessa forma, salienta-se que o conceito de ambiente está atrelado não apenas à ideia de fatores meramente espaciais, mas, também, de fatores ambientais como os citados.

A ocorrência de interação de genótipos com ambientes pode ser detectada estatisticamente por meio da análise conjunta de experimentos repetidos em mais de um ambiente e cujos tratamentos sejam constituídos de materiais genéticos. Nos programas de melhoramento genético, é necessária a instalação de uma rede experimental que consiga amostrar toda a diversidade de ambientes em que a espécie será cultivada. A partir da análise dos dados obtidos nessa rede, pode-se realizar um zoneamento para o plantio dos materiais selecionados, bem como, serem estabelecidas zonas de melhoramento na qual permitem reduzir o número de locais de experimentação para os ciclos subsequentes de seleção, além de permitirem a seleção de materiais estáveis, capitalizando o efeito da interação genótipos x ambientes (PIRES et al., 2011).

3.7 MODELOS MISTOS

A avaliação genotípica compreende a estimação de componentes de variância (parâmetros genéticos) e a predição dos valores genotípicos (ou valores fenotípicos futuros). As estimativas dos parâmetros genéticos, tais quais a herdabilidade e correlações genéticas, são fundamentais para o delineamento de eficientes estratégias de melhoramento. O procedimento ótimo de avaliação genotípica refere-se ao REML/BLUP (máxima verossimilhança residual ou restrita / melhor predição linear não viciada), também denominado, genericamente, de metodologia de modelos

mistos. O REML/BLUP permite a estimação e predição com dados desbalanceados e considera, simultaneamente, todas as informações experimentais disponíveis (RESENDE, 2007).

De acordo com Pimentel et al. (2014), o uso de procedimentos genético-estatísticos mais refinados, como a metodologia de modelos mistos, é uma tendência no melhoramento genético de plantas. Segundo Resende (2007), o REML é uma generalização da ANOVA para situações mais complexas. É um método eficiente no estudo das várias fontes de variação associadas à avaliação de experimentos de campo, permitindo desdobrar a variação fenotípica em seus vários componentes genéticos, ambientais e de interação genótipo x ambiente. O procedimento ótimo de seleção é o BLUP para os efeitos genéticos aditivos, de dominância e genotípicos, dependendo da situação. Além disso, é o procedimento que maximiza a acurácia seletiva.

De maneira geral, no modelo linear misto, os efeitos dos fatores podem ser classificados como fixos ou aleatórios. Um fator é considerado de efeito fixo quando é atribuído a um conjunto finito de tratamentos ou níveis específicos de fatores experimentais, e as conclusões, neste caso, são restritas aos níveis dos fatores. Por outro lado, quando um conjunto infinito de tratamento é atribuído ao fator, de tal forma que o conjunto seja uma amostra aleatória de uma população, o fator é dito de efeito aleatório, e é possível inferir sobre a população da qual os níveis do fator foram amostrados (SEARLE et al., 1992). Segundo esses autores, conforme a natureza fixa ou aleatória dos efeitos de um modelo, esse é classificado como fixo, aleatório ou misto, onde a combinação de efeitos aleatórios e fixos, com exceção do erro experimental e da média geral, define o modelo misto.

REFERÊNCIAS

ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype-environment interaction in applied plant breeding. **Crop Science**, v. 4, n. 5, p. 503-508, 1964.

ANDRADE, H. B. **Avaliação de espécies e progênies de *Eucalyptus* L'Heritier (Myrtaceae) nas regiões norte e noroeste do Estado de Minas Gerais**. 105 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1991.

ALFENAS, A.C.; ZAUZA, E.A.; MAFIA, R.G.; ASSIS, T.F. **Clonagem e doenças do eucalipto**. 2 ed. Editora UFV. 2009. 500 p.

ALFENAS, A.C. Fungos do gênero *Cylindrocladium* como patógenos florestais no Brasil. **Fitopatologia Brasileira**, v. 11, p. 275-277, 1986.

ALFENAS, R. F.; PEREIRA, O. L.; FERREIRA, M. A.; JORGE, V. L.; CROUS, P. W.; ALFENAS, A. C. *Calonectria metrosideri*, a highly aggressive pathogen causing leaf blight, root rot, and wilt of *Metrosideros* spp. in Brazil. **Forest Pathology**, v.43, 2013.

ALFENAS, R. F.; LOMBARD, L.; PEREIRA, O. L.; ALFENAS, A. C.; CROUS, P. W. Diversity and potential impact of *Calonectria* species in *Eucalyptus* plantations in Brazil. **Studies in Mycology**, v. 80, p. 89-130. 2015.

ASSIS, T. F.; ABAD, J. I. M.; AGUIAR, A. M. Melhoramento Genético do Eucalipto. In: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. (Eds.). **Silvicultura do eucalipto no Brasil**. 1 ed. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2016. p. 306.

BENSON, D. H. Aspects of the ecology of a rare tree species, *Eucalyptus benthamii*, at Bents Basin, Wallacia. **Cunninghamia**, Sydney, v. 1, n. 3, p. 371-383, 1985.

BERTOLUCCI, F. L. G.; REZENDE, G. D. S. P.; PENCHEL, R. Produção e utilização de híbridos de eucalipto. **Silvicultura**, São Paulo, v. 13, n. 51, p. 12-16, 1993.

BORÉM, A.; MIRANDA G. V. **Melhoramento de plantas**. Viçosa: Editora UFV, 6 ed., 2013. 523 p.

BROOKER, M. I. H.; SLEE, A. V.; CONNORS, J. R. **Euclid**. Disponível em: <<https://www.anbg.gov.au/cpbr/cd-keys/Euclid/sample/html/learn.htm>>. Acesso em: ago. 2017.

BROWN, A. H. D. Genetic characterization of plant mating systems. In: BROWN, A. H. D., CLEGG, M. T.; KAHLER, A. L.; WEIR, B. S. (eds). **Plant Population Genetics - Breeding and Genetic Resources**. Sunderland, MA: Sinauer Associates. pp. 145-162. 1990.

BUENO, L. C. S.; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, S. P. **Melhoramento genético de plantas**: princípios e procedimentos. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 319 p.

BUTCHER, P. A.; SKINNER, A. K.; GARDINER, C. A. Increased inbreeding and inter-species gene flow in remnant populations of the rare *Eucalyptus benthamii*. **Conservation Genetics**, v. 6, n. 2, p. 213-226, 2005.

CHEN Q. Z.; GUO, W. S.; FENG L. Z.; SH, M. I. A. O.; LIN, J. S. Identification of *Calonectria* associated with *Eucalyptus* spp. cutting seedling leaf blight. **Journal of Fujian Agriculture and Forestry University**, v. 42, n. 3, p. 257-262, 2013a.

CHEN, Q. Z.; GUO, W. S.; YE, X. Z.; FENG, L. Z.; HUANG, X. P.; WU, Y. Z. Identification of *Calonectria* associated with *Eucalyptus* leaf blight in Fujian province. **Jornal do Fujian Forestry College**, v. 33, n. 2, p. 176-182, 2013b.

CROUS, P. W. **Taxonomy and Pathology of *Cylindrocladium* (*Calonectria*) and Allied Genera**. St Paul MN, USA. APS Press. 2002.

CROUS, P. W.; WINGFIELD, M. J. A monograph of *Cylindrocladium*, including anamorphs of *Calonectria*. **Mycotaxon**, vol. 51, p. 341-435. 1994.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 3.ed., 2004. 480 p.

DIANESE, J. C.; RIBEIRO, W. R. C.; URBEN A. F. Root rot of soybean caused by *Cylindrocladium clavatum* in central Brazil. **Plant Disease**, v. 70, n. 10, p. 977-980, 1986.

ELDRIDGE, K.; DAVIDSON, I.; HARDWOOD, C.; VAN WYK, G. **Eucalypt domestication and breeding**. New York: Oxford University Press, 1993. 288 p.

FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa**. Viçosa: UFV, 1987. 279 p.

FERREIRA, F. A. **Patologia Florestal. Principais doenças florestais no Brasil**. Viçosa, MG, Sociedade de Investigações Florestais, 1989. 570 p.

FERREIRA, M. A.; ALFENAS, A. C.; BINOTI, D. H. B.; MACHADO, P. S.; MOUNTEER, A. H. Slow sand filtration eradicates eucalypt clonal nursery plant pathogens from recycled irrigation water in Brazil. **Tropical Plant Pathology**, v. 37, n. 5, p. 319-325, 2012.

FERREIRA, M.; SANTOS, P.E.T. Melhoramento genético florestal dos eucaliptos no Brasil: breve histórico e perspectivas. In: **IUFRO. CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS**, Salvador, 1997. Proceedings. Colombo: Embrapa/CNPF, 1997. v.1, p.14-34.

FONSECA, S. M.; RESENDE, M. D. V.; ALFENAS, A. C.; GUIMARÃES, L. M. S.; ASSIS, T. F.; GRATTAPAGLIA, D. **Manual prático de melhoramento genético do eucalipto**. 1. ed., Viçosa: Editora UFV, 2010. 200 p.

HAWKSWORTH, D. L. A new dawn for the naming of fungi: impacts of decisions made in Melbourne in July 2011 on the future publication and regulation of fungal names. **IMA Fungus**, v. 2, n. 2, p. 155-162, 2011.

HAWKSWORTH, D. L. Managing and coping with names of pleomorphic fungi in a period of transition. **IMA Fungus**, v. 3, p. 15-24, 2012.

HAWKSWORTH, D. L., CROUS, P.W., REDHEAD, S.A., et al. The Amsterdam declaration on fungal nomenclature. **IMA Fungus**, v. 2, n. 1, p. 105-112, 2011.

HIGA, R. C. V.; PEREIRA, J. C. D. **Usos potenciais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 4 p. (Embrapa Florestas, Comunicado Técnico, 100).

HIROOKA, Y.; TAKEUCHI, J.; HORIE, H.; NATSUAKI, K. T. *Cylindrocladium* brown leaf spot on *Howea belmoreana* caused by *Calonectria ilicicola* (anamorph: *Cylindrocladium parasiticum*) in Japan. **Journal of General Plant Pathology**, v. 74, n. 1, p. 66-70, 2008.

HODGES, C. S.; MAY, L. C. A root disease of pine, *Araucaria*, and *Eucalyptus* in Brazil caused by a new species of *Cylindrocladium*. **Phytopathology**, v. 62, p. 898-901. 1972.

HODGES, C. S.; REIS, M. S.; MAY, L. C. Duas enfermidades em plantações de essências florestais exóticas no Brasil. **Brasil Florestal**, v. 6, p. 5-12, 1973.

IBÁ - **INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES**, 2017. Disponível em: <https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>. Acesso em: nov. 2018.

JOVANOVIC, T.; BOOTH, T. H. **Improved species climatic profiles**. Australia: Union Offset Printing: Joint Venture Agroforestry Program, Rural Industries Research and Development Corporation, 2002. 68 p.

KAGEYAMA, P. Y. **Variação genética em progênies de uma população de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden**. 1980. 125 f. Dissertação (Mestrado em Genética), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

KAGEYAMA, P. Y.; VENCOSKY, R. Variação genética em progênies de uma população de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden. **IPEF**, Piracicaba, v. 24, p. 9-26, 1983.

LAU, D.; RODRIGUES, M. A. D.; LAU, E. Y.; ALFENAS, A. C. Resistência a doenças: aplicações em patossistemas florestais. In: BORÉM, A. **Biotechnologia florestal**. Viçosa: Ed. Viçosa, 2007. p. 143-173.

LI, J. Q.; WINGFIELD, M. J.; LIU, Q.; BARNES, I.; ROUX, J.; LOMBARD, L.; CROUS, P. W.; CHEN, S. *Calonectria* species isolated from *Eucalyptus* plantations and nurseries in South China. **IMA Fungus**, v. 8, n. 2, p. 259-286, 2017.

LOMBARD, L.; CROUS, P. W.; WINGFELD, B. D.; WINGFIELD, M. J. Species concepts in *Calonectria* (*Cylindrocladium*). **Studies in Mycology**, v. 66, p. 15-30. 2010.

LOMBARD, L.; CHEN, S. F.; MOU, X.; ZHOU, X. D.; CROUS, P. W.; WINGFIELD, M. J. New species, hyper-diversity and potential importance of *Calonectria* spp. from *Eucalyptus* in South China. **Studies in Mycology**, v. 80, p.151–188. 2015.

LOMBARD, L.; RODAS, C. A.; CROUS, P. W.; WINGFIELD, B. D.; WINGFIELD, M.J. *Calonectria* (*Cylindrocladium*) species associated with dying *Pinus* cuttings. **Persoonia**, v. 23, p. 41–47, 2009.

MATRANGOLO, C. A. R.; CASTRO, R. V. O.; DELLA LUCIA, T. M. C.; DELLA LUCIA, R. M.; MENDES, A. F. N.; COSTA, J. M. F. N.; LEITE, H. G. Crescimento de eucalipto sob efeito de desfolhamento artificial. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 9, p. 952-957, 2010.

MELETTI, L. M. M.; SANTOS, R. R.; MINAMI, K. Melhoramento do maracujazeiro amarelo: obtenção do composto IAC-27. **Scientia Agricola**, v. 56, p. 491-498, 2000.

MILGATE, A. W.; POTTS, B. M.; JOYCE, K.; MOHAMMED, C.; VAILLANCOURT, R. E. Genetic variation in *Eucalyptus globulus* for susceptibility to *Mycosphaerella nubilosa* and its association with tree growth. **Australasian Plant Pathology**, v. 34, p. 11-18, 2005.

MIRANDA, A. C.; MORAES, M. L. T.; TAMBARUSSI, E. V.; FURTADO, E. L.; MORI, E. S.; SILVA, P. H. M.; SEBBENN, A. M. Heritability for resistance to *Puccinia psidii* Winter rust in *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden in Southwestern Brazil, **Tree Genetics & Genomes**, v. 9, p. 321-329, 2013.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: 2000. 114 p.

MORI, E. S.; SEBBENN, A. M.; TAMBARUSSI, E. V.; GURIES, R. P. Sistema de reprodução em populações naturais de *Peltophorum dubium*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 99, p. 307-317, 2013.

NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G. I. B.; KLOCK, U. Caracterização anatômica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 67-76, 1998.

NOVAES, Q. S.; SOUZA, V. C.; DIAS, P. C.; SANTOS, A.; BEZERRA, J. L. *Toona ciliata*, a new host of *Cylindrocladium clavatum* in Brazil. **Summa Phytopathologica**, v. 38, n. 3, p. 251-252, 2012.

NSW National Parks and Wildlife Service. **Environmental Impact Assessment Guidelines – *Eucalyptus benthamii*** Maiden and Cabbage. NSW Government. 2000. Disponível em: <<http://www.environment.nsw.gov.au/resources/nature/EbenthamiiEia0500.pdf>>. Acesso em: 18 out. 2017.

OFFICE OF ENVIRONMENT AND HERITAGE (OEH). **Camden White Gum** – profile. NSW Government. 2017. Disponível em: <http://www.environment.nsw.gov.au/threatenedspeciesapp/profile.aspx?id=10284>. Acesso em: 18 out. 2017.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T.; FERREIRA, C. A. **Eucaliptos indicados para plantio no estado do Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas - CNPF, 2006. 45 p. (Documentos, 129).

PATAKY, J. K.; CARSON, M. L. Resistência da planta hospedeira. In: TRIGIANO, R. N.; WINDHAM, M. T.; WINDHAM, A. S. **Fitopatologia: conceitos e exercícios de laboratório**. 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. p. 411 - 428.

PIRES, B. M. **Efeito da desrama artificial no crescimento e na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* para serraria**. 91 f. 2000. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

PIRES, I. E.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, R. L.; RESENDE JR.; M. F. R. **Genética florestal**. 1 ed, Arka: Viçosa-MG, 2011. 318 p.

PIMENTEL, A. J. B.; GUIMARÃES, J. F. R.; SOUZA, M. A.; RESENDE, M. D. V.; MOURA, L. M.; ROCHA, J. R. do A. S. C.; RIBEIRO, G. Estimação de parâmetros genéticos e predição de valor genético aditivo de trigo utilizando modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, p. 882-890, 2014.

POLIZZI, G.; VITALE, A.; AIELLO, D.; GUARNACCIA, V.; CROUS, P.; LOMBARD, L. First report of *Calonectria ilicicola* causing a new disease on Laurus (*Laurus nobilis*) in Europe. **Journal of Phytopathology**, v. 160, n. 1, p. 41- 44, 2012.

PRYOR, L. D. **The biology of *Eucalyptus***. London: Edward Arnold; 1976. 82 p.

RESENDE, M. D. V.; FURLANI-JÚNIOR, E.; MORAES, M. L. T.; FAZUOLI, L. C. Estimativas de parâmetros genéticos e predição de valores genotípicos no melhoramento do cafeeiro pelo procedimento REML/BLUP. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 3, p.185-193, 2001.

RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 561 p.

RESENDE, M. D. V.; ASSIS, T. F.; GRATTAPAGLIA, D.; PIRES, I. E. Genética e melhoramento do eucalipto. In: VALE, A. B. do; MACHADO, C. C.; PIRES, J. M. M.; VILAR, M. B.; COSTA, C. B.; NACIF, A. de P. (Ed.). **Eucaliptocultura no Brasil: silvicultura, manejo e ambiência**. Viçosa, MG: SIF, 2014. p. 103-119.

RESENDE, M. D. V. **Genética quantitativa e de populações**. Viçosa- MG: Suprema. 2015. 463 p.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.

REZENDE, E. H.; AUER, C. G.; HIGA, A. R.; SANTOS, A. F.; SILVA, L. D. Fungos associados à mancha foliar e ao cancro de *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden), em dois locais do estado de São Paulo. **Enciclopédia Biosfera**, v. 14, n. 25, p. 726, 2017.

RITLAND K. Correlated matings in the partial selfer, *Mimulus guttatus*. **Evolution**, Lancaster, v. 43, n. 4, p. 848-859, 1989.

ROBINSON, H. F.; COCKERHAM, C. C. Estimacion y significado de los parametros geneticos. **Fitotecnica Latinoamericana**, v. 2, p. 23-38, 1965.

ROSSMAN, A. Y. *Calonectria* and its type species, *C. daldiniana*, a later synonym of *C. pyrochroa*. **Mycotaxon**, v. 8, p. 321-328, 1979.

ROSSMAN, A. Y.; SEIFERT, K. A.; SAMUELS, G. J.; et al. Genera of Bionectriaceae, Hypocreaceae and Nectriaceae (Hypocreales) proposed for acceptance and rejection. **IMA Fungus**, v. 4, p. 41-51, 2013.

SANTAROSA, E.; PENTEADO JÚNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. R. **Transferência de Tecnologia Florestal - cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda**. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

SANTOS, A. F.; AUER, C. G.; GRIGOLETTI JUNIOR, A. **Doenças do eucalipto no sul do Brasil: identificação e controle**. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. 20 p. (Circular Técnica, 45).

SCHULTZ, B.; SBRAVATTI JUNIOR, J. A.; AUER, C. G.; SANTOS, A. F. Impacto da mancha foliar causada por *Cylindrocladium candelabrum* em plantios jovens de

Eucalyptus benthamii em Rio Negrinho - SC. **Ciência Florestal**, v. 25, p. 307-316, 2015.

SCHUMACHER, M. V.; VIEIRA, M. **Silvicultura do eucalipto no Brasil**. Santa Maria, RS: UFSM, 2015. 308 p.

SEARLE, S. R.; CASELLA, G.; McCULLOCH, C. E. **Variance Components**. New York: John Wiley & Sons, 1992. 501 p.

SEBBENN, A. M. Tamanho amostral para conservação ex situ de espécies arbóreas com sistema misto de reprodução. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 15, p. 109-124, 2003.

SEBBENN, A. M. Sistema de reprodução em espécies arbóreas tropicais e suas implicações para a seleção de árvores matrizes para reflorestamentos ambientais. In: HIGA, A. R.; SILVA, L. **Pomares de sementes de espécies nativas**, Curitiba: FUPEF, p. 193-198, 2006.

SILVA, L. D. **Melhoramento genético de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage visando à produção de madeira serrada em áreas de ocorrência de geadas severas**. 275 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

SILVA, P.H.M.; BARRICHELO L.E.G. Progressos recentes na área florestal. In: PATERNIANI, E. **Ciência, Agricultura e Sociedade**. Embrapa, Brasília. p.439-456. 2006.

SILVA, D. L.; HIGA, A. R. SANTOS, A. G. **Silvicultura e melhoramento genético do *Eucalyptus benthamii***. Curitiba: FUPEF, 2012.

SOARES, I. D.; AUER, C. G.; SANTOS, A. F.; TAMBARUSSI, E. V.; REZENDE, E. H.; COELHO, T. A. V.; DUIN, I. M. Fungos associados à mancha foliar em *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage na região sul do Brasil. **Biofix Scientific Journal**, v. 2, p. 32-37, 2017.

SQUILLACE, A. E. Average genetic correlations among offspring from open-pollinated forest trees. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 23, n. 5, p. 149-156. 1974.

SWAIN, T. An overview of the status of cold tolerant eucalypt trials in South Africa. In: CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTUS, 1997: Salvador. **Anais...** Colombo: IUFRO, 1997. p.69-76.

TAMBARUSSI, E. V.; PEREIRA, F. B.; SILVA, P. H. M.; LEE, D.; BUSH, D. Are tree breeders properly predicting genetic gain? A case study involving *Corymbia* species. **Euphytica**, v. 214, n. 150, 2018.

VAN DER PLANK, J. E. **Disease resistance in plant**. New York: Academic Press, 1968. 206 p.

VAN DER PLANK, J. E. **Disease resistance in plants**. New York: Academic Press, 1984. 194 p.

VAN BUIJTENEN, J. P. Fundamental genetic principles. In: FINS, L.; FRIEDMAN, S. T.; BROTSCHOL, J. V. **Handbook of quantitative forest genetics**. Kluwer, Dordrecht, p. 29-68, 1992.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. Genética biométrica no fitomelhoramento. Ribeirão Preto: **Sociedade Brasileira de Genética**, 1992. 496 p.

VENCOVSKY, R.; PEREIRA, M. B.; CRISÓSTOMO, J. R.; FERREIRA, M. A. J. Genética e melhoramento de populações mistas. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLIS, M. C. **Recursos genéticos e melhoramento**. Rondonópolis: Fundação MT, p. 231-281, 2001.

VITALE, A.; CROUS, P. W.; LOMBARD, L.; POLIZZI, G. *Calonectria* diseases on ornamental plants in Europe and the Mediterranean basin: an overview. **Journal of Plant Pathology**, v. 95, n. 3 p. 463–476, 2013.

VISSCHER, P. M.; HILL, W. G.; WRAY, N. R. Heritability in the genomics era - concepts and misconceptions. **Nature Review Genetics**, v. 9, p. 255-266, 2008.

XAVIER, A.; SILVA, R. L. Evolução da silvicultura clonal de *Eucalyptus* no Brasil. **Agronomía Costarricense**, v. 34, n. 1, p. 93-98, 2010.

WINGFIELD, M. J.; DE BEER, Z. W.; SLIPPERS, B.; WINGFIELD, B. D.; GROENEWALD, J. Z.; LOMBARD, L.; CROUS, P. W. One fungus, one name promotes progressive plant pathology. **Molecular Plant Pathology**, v. 13, p. 604-613. 2012.

WRAY, N.; VISSCHER, P. Estimating trait heritability. **Nature Education**, v. 1, n. 1, 2008.

YE, X.; ZHONG, Z.; LIU, H.; et al. Whole genome and transcriptome analysis reveal adaptive strategies and pathogenesis of *Calonectria pseudoreteaudii* to *Eucalyptus*. **BMC Genomics**, v.19, n. 1, 2018.

ZHU, J. H.; GUO, W. S.; CHEN, H. M.; WU, J. Q.; CHEN, Q. Z.; MENG, X. M. Loss estimation of eucalyptus growth caused by of eucalyptus dieback. **Forest Pest & Diseases**, v. 30, n. 5, p. 6-10, 2011.

CAPÍTULO I

ETIOLOGIA E SELEÇÃO FENOTÍPICA PARA RESISTÊNCIA À MANCHA DE

Calonectria EM *Eucalyptus benthamii*

RESUMO

Espécies de eucaliptos estão entre os principais hospedeiros do gênero *Calonectria* (anamorfo *Cylindrocladium*), patógenos que podem atacar os tecidos das folhas, caules e ramos do eucalipto. Os objetivos deste capítulo foram identificar os agentes causais da doença e avaliar a resistência à mancha foliar em teste de progênies de *Eucalyptus benthamii*, a fim de verificar o potencial de uso das progênies por meio da seleção fenotípica. Testes de progênies instalados em três locais, constituídos por 85 progênies e seis testemunhas com sintomas de mancha foliar, foram avaliados quanto à resistência, utilizando como ferramentas a incidência e severidade da doença aos 10, 16 e 27 meses de idade. A escala de avaliação de severidade variou de zero (sem a doença) a quatro (desfolha até 2/3 da árvore). A severidade média obtida pelas progênies foi comparada com as testemunhas e entre os locais. Caracteres morfológicos e sequências de DNA de duas regiões gênicas (β -tubulina (TUB) e calmodulina (CAL)) foram utilizados para identificar as espécies, as quais indicaram as espécies *Calonectria metrosideri* e *Calonectria spathulata* como os agentes causais das manchas foliares. Este é o primeiro relato de ambas as espécies em *Eucalyptus benthamii* e o primeiro relato de *Ca. metrosideri* em plantios do gênero *Eucalyptus* em nível mundial. *Ca. spathulata* apresentou-se mais agressivo do que *Ca. metrosideri*. Os sintomas da doença atingiram todas as árvores e resultaram em mais de 50% de desfolha da copa em árvores com mais de dois anos de idade. As progênies de *E. benthamii* apresentam potencial para exploração da sua variabilidade em relação à resistência à mancha foliar em uma estratégia de seleção de um programa de melhoramento genético.

Palavras-chave: *Cylindrocladium*, Doença foliar, *Eucalyptus*, *Calonectria metrosideri*, *Calonectria spathulata*

CHAPTER I

ETIOLOGY AND PHENOTYPIC SELECTION FOR RESISTANCE TO CALONECTRIA LEAF SPOTS IN *Eucalyptus benthamii*

ABSTRACT

Eucalyptus species are among the main hosts of the genus *Calonectria* (anamorph *Cylindrocladium*), pathogens that can attack leaf, stem, and branch tissues. The objectives of this chapter were to identify the causal agents of the disease and evaluate resistance to leaf spots in *Eucalyptus benthamii* progenies in order to verify the potential use of the progenies for phenotypic selection. Progeny tests at three sites, consisting of 85 progenies and six controls with leaf spot symptoms, were evaluated for resistance based on the incidence and severity of the disease at 10, 16, and 27 months of age. The severity assessment scale ranged from zero (without the disease) to four (defoliation of up to 2/3 of the tree). The average severity obtained by the progenies was compared with the controls and between sites. Based on morphological characteristics and DNA sequences from two gene regions (β -tubulin (TUB) and calmodulin (CAL)), *Calonectria metrosideri* and *Calonectria spathulata* were identified as the causal agents of the leaf spots. This is the first report of *Ca. metrosideri* in eucalypts in the world and the first reported incidence of *Ca. spathulata* in *E. benthamii*. Both species were re-isolated from diseased leaves to fulfill the Koch postulates, and *Ca. spathulata* was shown to be the more aggressive agent. Symptoms of the disease reached all trees and resulted in greater than 50% canopy defoliation at two years of age. There is potential to exploit the variability of *E. benthamii* progenies in relation to leaf spot resistance which can offer a strategy for selection in breeding programs.

Keywords: *Cylindrocladium*; Leaf disease; *Eucalyptus*; *Calonectria metrosideri*; *Calonectria spathulata*

1 INTRODUÇÃO

O cultivo do gênero *Eucalyptus* na região Sul do Brasil apresenta certas limitações em sua expansão, principalmente devido à ocorrência de temperaturas mais baixas e geadas frequentes (NISGOSKI; MUÑIZ; KLOCK, 1998). Para contornar esse problema, algumas espécies, por apresentar maior tolerância, constituem um grupo muito restrito às condições frias, como, por exemplo, o *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage, introduzido no Brasil pela Embrapa Florestas (GRAÇA; SHIMIZU; TAVARES, 1999) há pouco mais de 30 anos. O trabalho dos pesquisadores, desde então, tem sido melhorar a adaptação geral da espécie, as características silviculturais, níveis de produtividade e usos diversificados da madeira.

Uma das principais doenças registradas em *E. benthamii* no Brasil foi a mancha e desfolha causada por *Calonectria candelabra* (= *Cylindrocladium candelabrum* Viégas) (SCHULTZ et al., 2015). *Calonectria* (anamorfo *Cylindrocladium*) ocasiona lesões nas folhas do hospedeiro e com o progresso da doença, a mesma pode induzir acentuada desfolha nos terços basais, medianos e apicais das copas das árvores, a partir do primeiro ano de plantio. Esse fungo sobrevive como escleródios em tecidos de plantas infectadas e se dissemina no campo por meio de respingos de chuva com solo contendo inóculo, para folhas e ramos do terço inferior da copa das árvores (FERREIRA, 1989; ALFENAS et al., 2009).

O gênero *Calonectria* agrupa patógenos comumente encontrados em regiões tropicais e subtropicais (CROUS, 2002; LOMBARD et al., 2016), que podem infectar e causar perdas econômicas em plantações florestais, agrícolas e hortícolas (HIROOKA et al., 2008; LOMBARD et al., 2009; POLIZZI et al., 2012). Segundo Chen et al. (2013), as árvores severamente afetadas sofrem redução no crescimento, o que resulta em significativas perdas econômicas e ameaça à sustentabilidade a longo prazo da indústria de eucalipto. Estima-se que em Fujian, na China, as perdas econômicas anuais devidas ao gênero *Calonectria* em eucalipto sejam superiores a 7,8 milhões de dólares (ZHU et al., 2011).

A ocorrência desses patógenos tornou-se expressiva em plantios de *E. benthamii* na região Sul do Brasil, mas não se tem muitas informações na literatura acerca das espécies de *Calonectria* que podem estar associadas a mancha nessa espécie, além de *Ca. candelabra* constatada por Schultz et al. (2015). Conhecer o patógeno e quantificar os sintomas causados é o primeiro passo para descrever o

progresso da epidemia e tomar medidas de controle. O plantio de genótipos resistentes tem sido o método mais eficaz e econômico para controlar a mancha-de-calonectria (CLB) no campo (ALFENAS et al., 2009; FONSECA et al., 2010).

A demanda por material vegetal para o plantio de *E. benthamii* em regiões frias e a falta de genótipos resistentes à doença selecionados exigem medidas imediatas. Um método comum e eficaz para iniciar um programa de melhoramento genético é a seleção fenotípica, utilizada devido a sua praticidade, baixo custo e rapidez. Esse tipo de seleção leva em consideração apenas a performance visual do indivíduo, consistindo na escolha dos melhores indivíduos com base no seu valor fenotípico para as características de interesse (PIRES et al., 2011). Esse tipo de seleção não é a mais eficaz, porém, permite ganhos precoces em programas de melhoramento florestal.

Dada à importância econômica do eucalipto, esta pesquisa iniciou-se no ano de 2015 quando uma epidemia por manchas foliares foi observada em um teste de progênies de *E. benthamii* replicado em três locais no sul do Brasil. Foi constatada a presença da CLB em *E. benthamii* nos primeiros três anos de idade, o que demonstra a necessidade de obter materiais resistentes à doença.

Assim, os objetivos deste capítulo foram identificar os agentes causais da doença e avaliar a resistência à mancha foliar em teste de progênies de *E. benthamii*, para verificar o potencial de uso das progênies por meio da seleção fenotípica.

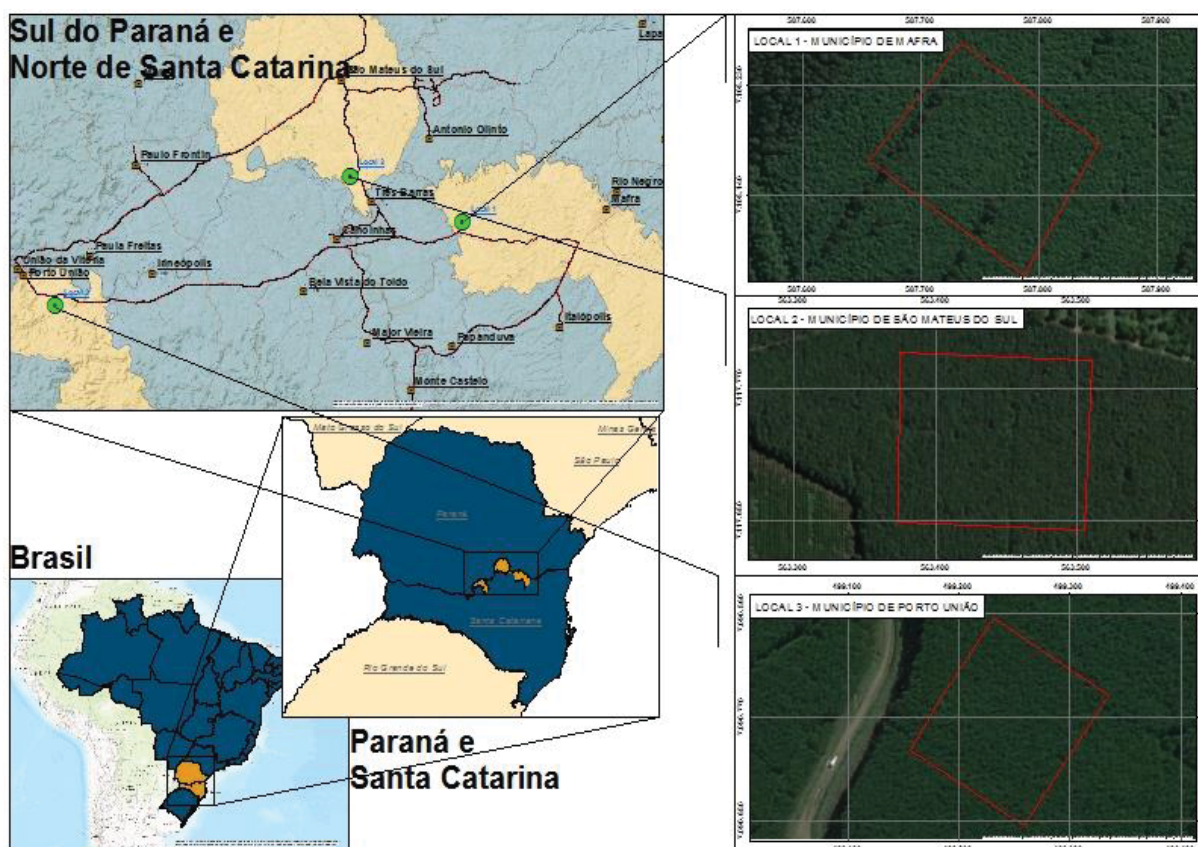
2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS E MATERIAL GENÉTICO

O teste de progênes de polinização aberta de *E. benthamii* foi instalado em fevereiro de 2015 e replicado nos municípios de São Mateus do Sul – Paraná, Mafra e Porto União – Santa Catarina, Brasil (FIGURA 1.2). O teste foi constituído por 85 progênes de polinização aberta e seis testemunhas (três clones comerciais e três *bulk* de *E. benthamii*) (TABELA 1.1).

O delineamento experimental de blocos casualizados foi utilizado, com quatro blocos e cinco árvores por parcela, com espaçamento de 2,5 x 2,5 m, totalizando 1.820 árvores em cada local de avaliação. Para reduzir o efeito de borda foram utilizadas duas linhas de bordadura compostas por *Eucalyptus dunnii*.

FIGURA 1.2 – LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO



FONTE: GISELA P. ANDREJOW (2018).

TABELA 1.1 – PROGÊNIES E PROCEDÊNCIAS DE *Eucalyptus benthamii* UTILIZADAS NAS AVALIAÇÕES NOS MUNICÍPIOS DE MAFRA E PORTO UNIÃO, NO ESTADO DE SANTA CATARINA, E SÃO MATEUS DO SUL, NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL

Tratamento	Nº Famílias	Procedência	Origem
Progênes	54	Candói-PR	Bents Basin – Austrália
Progênes	28	Jaguariaíva-PR	Kedumba Valley – Austrália
Progênes	3	Bio Bio-Chile	Kedumba Valley – Austrália
Clone	3	Guarapuava-PR	APS Candói – PR, Brasil
<i>Bulk</i>	1	Candói-PR	Bents Basin – Austrália
<i>Bulk</i>	1	Campo Alegre-SC	Oeste de Sidney - Austrália
<i>Bulk</i>	1	Vargem Bonita-SC	Oeste de Sidney - Austrália

FONTE: GISELA P. ANDREJOW (2018).

Os três locais envolvidos apresentam altitudes entre 755 a 805 m. De acordo com a classificação de Köppen, os climas foram classificados como Cfb (clima temperado com verão ameno). A precipitação média anual das áreas experimentais é de 2.350 mm e a temperatura média anual é de 18,5 °C. O solo da área experimental em Mafra foi caracterizado como Argissolo Vermelho distrófico típico; em Porto União como Plintossolo Háplico distrófico típico; e em São Mateus do Sul como Nitossolo Vermelho distrófico típico (TABELA 1.2).

TABELA 1.2 – CARACTERÍSTICAS EDAFOCLIMÁTICAS DOS TRÊS LOCAIS DE ESTUDO

Local	Lat. (S)	Long. (W)	Clima	Alt.	Temp.	Precip.	Solo
São Mateus do Sul/PR	26°03'28"	50°21'56"	Cfb	785	18,5	2350,3	NVd1.2
Mafra/SC	26°08'35"	50°07'19"	Cfb	805	18,5	2350,3	PVa2.1
Porto União/SC	26°18'10"	50°00'27"	Cfb	755	18,5	2350,3	FXd1

LEGENDA: Lat. – latitude Sul; Long. – longitude Oeste; Alt. - altitude (m); Temp. - temperatura (°C); Precip. - precipitação anual (mm).

FONTE: GISELA P. ANDREJOW (2018).

2.2 ETIOLOGIA DA MANCHA FOLIAR DE *Calonectria* EM *Eucalyptus benthamii*

2.2.1 Amostragem da doença em campo e obtenção dos isolados de *Calonectria* em *Eucalyptus benthamii*

Nas avaliações de campo realizadas, folhas de *E. benthamii* com os sintomas da mancha foliar foram coletadas de oito progênies, três repetições de cada progênie em cada local, com um total de 72 amostras por avaliação. As amostras foram devidamente armazenadas em sacos plásticos e caixa de isopor, e encaminhadas ao Laboratório de Patologia Florestal da Embrapa Florestas, Colombo, Paraná.

Para a análise laboratorial dos fungos associados à mancha foliar, foram realizados isolamentos diretos, que corresponderam ao procedimento de câmara úmida, em que um exemplar de cada amostra foi incubado em caixas do tipo “gerbox” contendo duas folhas de papel mata-borrão umedecidas com água esterilizada, mantidas sob temperatura e iluminação ambiente até ocorrer a formação de estruturas dos patógenos na superfície do material foliar.

Também, foram feitos isolamentos indiretos, no qual foram utilizados fragmentos foliares com sintomas. Neste tipo de isolamento, ocorreu a desinfestação dos fragmentos de folhas com álcool 70% por 10 s e hipoclorito 1% por 60 s, seguida pela lavagem do material em água esterilizada. Após esse procedimento, cinco fragmentos de cada amostra foram dispostos em placa de Petri em meio de cultura BDA – Batata, dextrose, ágar (39 g de extrato comercial de agar batata dextrosado, 1000 mL água ultrapurificada) totalizando três repetições (placas) por amostra. As placas do isolamento indireto foram incubadas em câmara BOD, a 24 °C, no escuro. Após o isolamento e crescimento dos fungos nas placas por sete dias, cada cultura foi purificada para novas placas contendo meio BDA.

2.2.2 Culturas monospóricas e conservação dos isolados

A partir das culturas puras em meio BDA foram detectados e selecionados oito isolados de *Calonectria*, com base no morfotipo, para obtenção de culturas monospóricas. Com o intuito de estimular a produção de conídios (ALFENAS et al., 2013), cada isolado foi submetido a estresse físico por meio da deposição de 20 mL de água destilada e posterior raspagem da superfície da colônia, de modo a remover todo o micélio aéreo presente. A seguir, descartou-se a água, sendo o excesso de umidade removido com auxílio de papel toalha. Em seguida, a cultura foi mantida em condição ambiente por 48 h, até a esporulação do fungo na superfície do meio.

Conidióforos retirados de cada cultura foram depositados em placas contendo meio ágar-água. A seguir, adicionou-se cerca de 2 mL de água destilada para espalhar

os conídios e facilitar a obtenção da cultura monospórica. Na sequência, retirou-se o excesso de água e, com o auxílio de uma agulha de insulina esterilizada, sob a lupa, foi realizada a transferência de cada conídio isoladamente para placas contendo meio SNA (nutriente-sintético-ágar), permanecendo por sete dias em câmara BOD, a 24°C. Cada isolado monospórico foi armazenado pelo método Castellani e mantido também em tubos de ensaio contendo meio BDA.

Foram preparadas lâminas com os esporos em líquido glicerinado e examinadas suas características ao microscópio óptico. A identificação ao nível de gênero teve por base as chaves sistemáticas de Barnett e Hunter (1972) e descrições de Alfenas et al. (2009).

2.2.3 Extração de DNA e amplificação

Todas as etapas de extração de DNA, amplificação e purificação foram realizadas no Laboratório de Patologia Florestal, da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Os isolados foram cultivados em meio BDA durante sete dias. Após esse período, o micélio foi raspado, macerado em nitrogênio líquido e a extração de DNA realizada por meio do método CTAB (brometo de cetil-trimetilamônio).

As reações de PCR foram realizadas utilizando Gotaq Colorless Master Mix Promega® com um volume final de 25 µl, contendo 12,5 µL de Gotaq Colorless Master Mix, 0,5 µL de cada primer (10 pmol/ µL) (primer 1 e primer 2), 1 µL de DNA genômico, 10,2 µL de água livre de nuclease e 0,3 µL de albumina sérica bovina (BSA). Os isolados foram selecionados para amplificação e sequenciamento das regiões gênicas β -tubulina (TUB) e calmodulina (CAL) usando os primers T1 (O'DONNELL; CIGELNIK, 1997), CYLTUB1R (CROUS et al., 2004), CAL-228F e CAL-737R (CARBONE; KOHN, 1999).

As amplificações foram realizadas no termociclador My Cycler™ (BIO-RAD) utilizando os seguintes parâmetros: desnaturação inicial a 94°C por 5 min, seguido por 35 ciclos de desnaturação a 96°C por 30 s, anelamento a 52°C por 30 s, extensão inicial a 72°C por 1 min e extensão final de 5 min a 72°C. Os produtos de PCR foram visualizados em gel de agarose a 1,2% corado com GelRed Biotium® para verificar a pureza e o tamanho dos fragmentos. A visualização foi realizada em fotodocumentador MiniBis Pro (Uniscience). Os produtos de PCR foram submetidos à

purificação e sequenciamento pela MacroGen Inc., Coréia do Sul (<http://www.macrogen.com>).

2.2.4 Análises filogenéticas

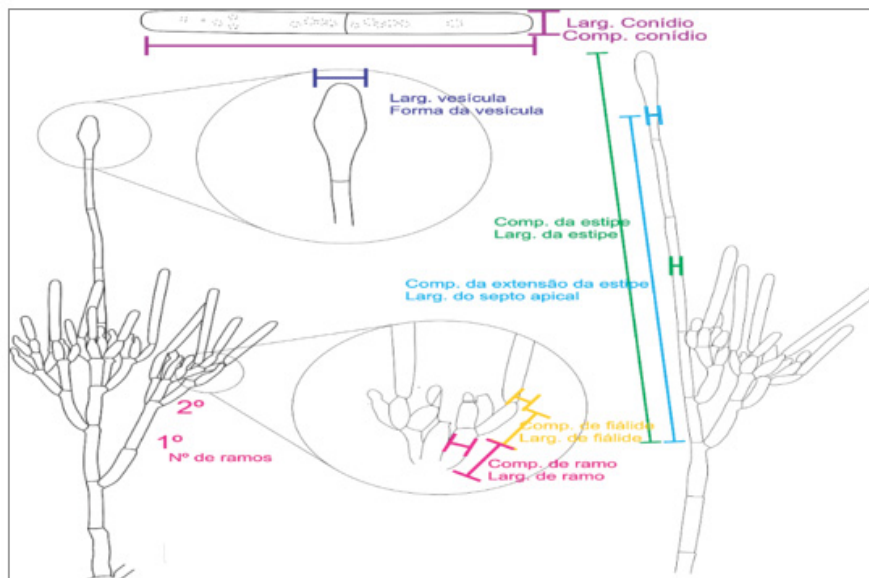
As sequências de nucleotídeos foram analisadas e editadas por meio do *software* SeqAssem (HEPPERLE, 2004) e as sequências foram comparadas com as depositadas na base de dados GenBank do National Center for Biotechnological Information – NCBI, por meio da ferramenta BLAST.

Para as análises filogenéticas, sequências de referência de espécies de *Calonectria*, correspondentes aos genes TUB e CAL depositadas no GenBank, foram acrescentadas nas análises. As árvores filogenéticas foram construídas utilizando o MRBAYES v. 3.2.1 (RONQUIST et al., 2012) usando Inferência Bayesiana (BI). A análise bayesiana foi utilizada para gerar probabilidades posteriores (PP) para “nós” de consenso usando MRBAYES (HUELSENBECK, 2001). As árvores foram construídas com o conjunto de dados alinhados de 38 sequências, incluindo as 26 sequências de isolados de referência e, como grupo externo, foram utilizadas as sequências de *Calonectria chinensis* CBS 112744 e *Ca. Colombiensis* CBS 112220. Cadeia de Monte Carlo Markov (MCMC) (LARGET; SIMON, 1999) foi executada com 1.000.000 de gerações usando o modelo de evolução de substituição apropriado determinado pelo jModelTest. As árvores foram visualizadas e editadas no Fig Tree v. 1.3.1. A combinação das regiões gênicas TUB e CAL foi determinada pelo teste de homogeneidade de partição (PHT) (FARRIS et al., 1994).

2.2.5 Caracterização morfológica de isolados de *Calonectria*

Inicialmente, culturas monospóricas foram cultivadas em meio nutriente-sintético-ágar (SNA) (NIRENBERG, 1981) a 26°C e mantidas em câmara BOD até a observação das estruturas reprodutivas. As características morfológicas foram determinadas pela montagem de estruturas em lâminas contendo ácido láctico. Foram realizadas 30 medições de cada marcador morfológico (FIGURA 1.3), recomendado por Lombard et al. (2010) no aumento de 1.000x. Para isso, foi utilizado um microscópio Leica com contraste de interferência diferencial de iluminação.

FIGURA 1.3 – MARCADORES MORFOLÓGICOS UTILIZADOS PARA A CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DE *Calonectria* spp.



FONTE: RILDO FERNANDES (2018).

2.2.6 Teste de patogenicidade

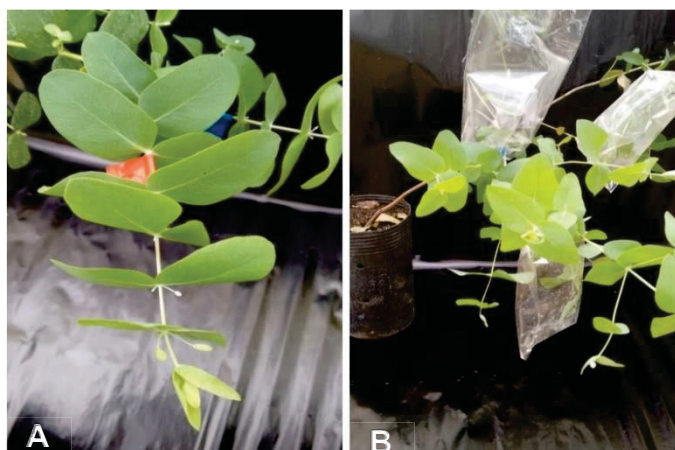
Para comprovar a patogenicidade dos isolados e verificar se eles são os agentes causais da doença, realizou-se inoculações artificiais de estruturas infectivas em folhas de *E. benthamii*. Para isso, foram empregadas mudas de dois dos clones testemunhas de *E. benthamii*, presentes no teste de progênies. Mudanças com seis meses foram transplantadas para vasos de plástico de 1 L contendo substrato comercial à base de casca de pinus. As plantas foram mantidas em casa de vegetação na Embrapa Florestas até a fase de inoculação, aos 60 dias após o transplante.

A inoculação foi realizada pelos métodos de suspensão de esporos e de discos de micélio-ágar com o patógeno (ALFENAS; FERREIRA, 2007). Com base nas análises moleculares, as espécies do patógeno identificadas foram utilizadas para a inoculação. Os isolados selecionados foram repicados em placas de Petri contendo meio BDA e cultivados em câmara BOD a 24°C, sob regime de fotoperíodo 12 h/12 h, por sete dias. Após esse período, para o método de suspensão de esporos, as culturas fúngicas foram submetidas ao estresse físico com o intuito de estimular a produção de conídios, conforme Graça et al. (2009).

No método de suspensão de esporos, a suspensão de inóculo foi preparada pela adição de 20 mL de água estéril mais 0,05% de Tween 20 sobre a cultura para a realização da raspagem com alça de Drigalski. Ajustou-se a concentração do inóculo

para 1×10^4 conídios por mL^{-1} . Após 60 dias do transplântio das mudas de *E. benthamii* para vasos mantidos em casa de vegetação, a suspensão dos inóculos de cada isolado foi pulverizada sobre um ramo selecionado da planta com auxílio de um pulverizador de 350 mL de capacidade, de modo a cobrir homogeneamente as superfícies abaxial e adaxial das folhas. À medida que se realizava a aspersão dos inóculos sobre as folhas do ramo selecionado, envolvia-se todo o órgão com um saco de polietileno transparente com o objetivo de manter uma condição de câmara úmida durante 48 h para favorecer o desenvolvimento do fungo (FIGURA 1.4).

FIGURA 1.4 – INOCULAÇÃO POR ASPERSÃO DE ESPOROS DE *Calonectria metrosideri* E *Calonectria spathulata* EM FOLHAS DE MUDAS DE *Eucalyptus benthamii* COM OITO MESES DE IDADE



FONTE: A autora (2018).

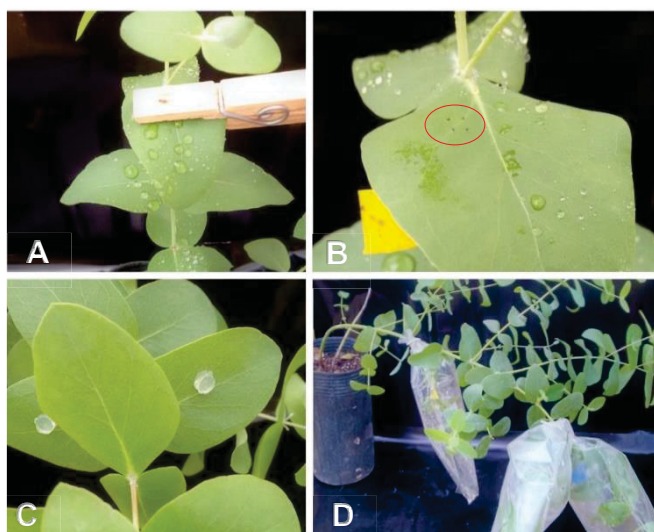
LEGENDA: Ramo selecionado para inoculação (A); ramos inoculados (tratamentos) envolvidos com saco de polietileno para criar efeito de câmara úmida (B).

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com 10 repetições por tratamento, sendo cada planta uma repetição. Como testemunha, um ramo de cada planta foi selecionado e mantido sob as mesmas condições descritas anteriormente, excetuando-se a inoculação do patógeno. Os sintomas foram avaliados nos ramos inoculados aos 10 dias após a inoculação, observando a porcentagem de lesões com base em escala de Alfenas e Ferreira (2007).

No método de discos de micélio-água do patógeno, a inoculação iniciou-se com a realização de um ferimento no par de folhas a ser inoculado. Para garantir a uniformidade do ferimento para a inoculação, foi utilizada a metodologia descrita por Grigoletti Jr.; Bizi e Auer (2005), na qual utilizou-se um aparato perfurador de folhas desenvolvido a partir de um simples prendedor de roupas de madeira, acoplado com quatro pequenas agulhas (FIGURA 1.5 A-B).

A inoculação consistiu em colocar um disco de 5 mm de diâmetro de meio BDA com micélio em crescimento ativo dos isolados sobre a parte adaxial de um par de folhas (previamente feridas) de cada planta (FIGURA 1.5 C). Os tratamentos foram mantidos sob as mesmas condições de câmara úmida descritas no método anterior (FIGURA 1.5 D). Pulverizou-se água esterilizada nas paredes internas do saco de polietileno para a manutenção da umidade e favorecer o desenvolvimento do fungo.

FIGURA 1.5 – INOCULAÇÃO COM DISCO DE MICÉLIO DE *Calonectria metrosideri* E *Calonectria spathulata* EM FOLHAS DE MUDAS DE *Eucalyptus benthamii* COM OITO MESES DE IDADE



FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: Realização de ferimento no par de folhas com uso de prendedor de roupa acoplado de quatro pequenas agulhas (A); ferimento realizado (B); disco de meio BDA com micélio do fungo (sem micélio para testemunha) disposto sobre a face adaxial da folha previamente ferida (C); ramos inoculados (tratamentos) envolvidos com saco de polietileno para criar efeito de câmara úmida (D).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com 10 repetições por tratamento, sendo cada planta considerada uma repetição. Como testemunha, dez plantas de cada clone foram inoculadas apenas com disco contendo meio BDA sem o inóculo. Os sintomas foram avaliados nas folhas inoculadas aos 10 dias após a inoculação, nas quais observou-se o tamanho das lesões com uso do paquímetro. Após a constatação dos sintomas da doença em ambos os métodos de inoculação, reisolamentos do patógeno foram realizados de folhas doentes cumprindo, assim, os postulados de Koch.

Valores do comprimento médio de lesão (obtidos com uso de paquímetro) e da porcentagem de lesão (com base em escala) mensurados no método de inoculação com discos de micélio e no método de inoculação por aspersão, respectivamente,

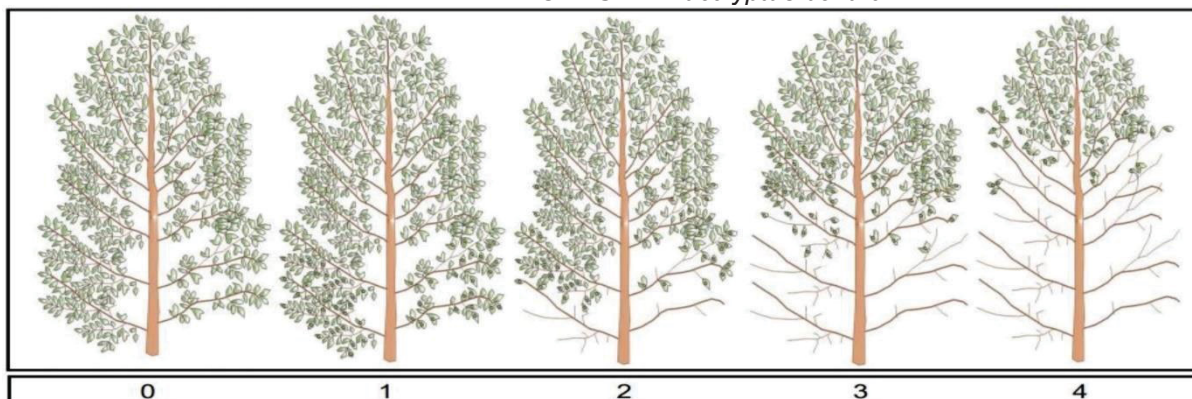
foram submetidos a análise de variância (ANOVA). Para comparação das médias e classificação dos isolados quanto à agressividade, foi utilizado o teste de Tukey a 95% de probabilidade.

2.3 RESISTÊNCIA DE *Eucalyptus benthamii* À MANCHA FOLIAR DE *Calonectria*

A resistência à mancha foliar foi avaliada com base na incidência e severidade da doença. Todas as árvores foram avaliadas nos três locais aos 10, 16 e 27 meses de idade, sendo que o período de avaliação de 10 meses foi realizado apenas no teste instalado em Mafra, SC. A metodologia consistiu na observação das copas das árvores, por duas pessoas treinadas, para a verificação da presença de sintomas de mancha foliar. Os sintomas constatados, na maioria das vezes, causavam desfolha nas árvores de *E. benthamii* nas diferentes idades. Com base nisso, utilizou-se uma escala diagramática para analisar a severidade da doença.

A resistência à mancha foi mensurada por uma escala de desfolha descrita por Krugner et al. (1991) e adaptada por Schultz (2011) para avaliar a mancha e desfolha em *E. benthamii*. Notas foram atribuídas à severidade da doença de acordo com a seguinte escala: 0 = ausência da doença; 1 = ausência de desfolha e presença de manchas foliares nos galhos inferiores; 2 = desfolha até 1/3 da árvore; 3 = desfolha até 1/2 da árvore; 4 = desfolha até 2/3 da árvore (FIGURA 1.6). Conforme a Figura 1.6, a maior resistência foi atribuída às progênies com notas mais baixas.

FIGURA 1.6 – ESCALA UTILIZADA PARA AVALIAR A SEVERIDADE DE *Calonectria* EM ÁRVORES DE *Eucalyptus benthamii*



LEGENDA: Escala de notas para avaliar a mancha e desfolha causada por *Calonectria* em árvores jovens de *E. benthamii*. 0 = ausência da doença; 1 = ausência de desfolha e presença de manchas foliares nos galhos inferiores; 2 = desfolha até 1/3 da árvore; 3 = desfolha até 1/2 da árvore; 4 = desfolha até 2/3 da árvore. Adaptado por Schultz (2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ETIOLOGIA DA MANCHA FOLIAR DE *Calonectria* spp. EM *Eucalyptus benthamii*

Os sintomas da CLB atingiram todas as árvores nos três locais avaliados (100% de incidência). Foi confirmada a presença de mancha foliar causada pelos fungos *Calonectria metrosideri* e *Calonectria spathulata*, conforme identificação realizada pela análise molecular. Este foi primeiro relato de ambas as espécies em árvores de *E. benthamii* no Brasil, e o primeiro relato de *Ca. metrosideri* em árvores do gênero *Eucalyptus* no mundo.

Espécies de *Calonectria* (anamorfo *Cylindrocladium*) têm sido relatadas como agentes patogênicos em diversas culturas, inclusive florestais, tais como pínus e acácia (HODGES; MAY, 1972; HODGES; REIS; MAY, 1973; ALFENAS, 1986; DIANESE et al., 1986; NOVAES et al., 2012) e, em particular, no gênero *Eucalyptus*, associados a doenças em plantios comerciais e em mudas nos viveiros (BLUM et al., 1992; GRAÇA et al., 2009; MAFIA et al., 2009; FERREIRA et al., 2012; ALFENAS et al., 2013; SCHULTZ et al., 2015; REZENDE et al., 2017).

Além disso, o gênero *Calonectria* é um dos principais causadores de mancha foliar em plantios de eucalipto cultivados no Brasil (ALFENAS, 2009; ALFENAS et al., 2013). Rezende et al. (2017) avaliaram duas populações de *E. grandis* W. Hill ex Maiden. no estado de São Paulo e constataram a presença de *Cylindrocladium* sp. como um dos causadores de mancha foliar e desfolha nas árvores. A mancha foliar de *Calonectria* foi observada pela primeira vez em árvores comerciais de *E. grandis* em 1970, com mais de 80% das árvores apresentando desfolhações severas. Três espécies de *Calonectria* foram identificadas como os agentes causais, que incluíam *Calonectria cylindrospora*, *Ca. ilicicola* e *Ca. pirochroa* (ALFENAS; FERREIRA, 1979 *apud* ALFENAS et al., 2015). Na década de 1990, *Ca. pteridis* (= *Cy. pteridis*) foi relatado em *E. grandis*, provocando manchas foliares e severas desfolhas em plantios no sudeste da Bahia e do Pará (FERREIRA et al., 1995).

Ca. metrosideri foi confirmado como patógeno e observado pela primeira vez em mudas do gênero *Metrosideros*, que inclui várias espécies de árvores, arbustos e videiras, nativas das ilhas do Pacífico (ALFENAS et al., 2013). *Ca. spathulata* foi descrito como uma nova espécie no trabalho de El-Gholl et al. (1986), sendo

observadas manchas foliares com lesões necróticas de tamanhos variáveis em *Eucalyptus viminalis*.

Os sintomas da mancha foliar do eucalipto causada por espécies de *Cylindrocladium* são bem marcantes, em que manchas foliares de dimensões variáveis e diferentes tonalidades de marrom foram observadas em campo (FIGURA 1.7). Segundo Alfenas et al. (2009), as lesões iniciam-se na base, no ápice ou nas margens das folhas e com o progresso da doença, essas lesões tomam grandes proporções do limbo foliar, ocasionando intensas desfolhas no primeiro ano de plantio.

FIGURA 1.7 – INCIDÊNCIA DA CLB EM TESTE DE PROGÊNIES DE *Eucalyptus benthamii* NOS MUNICÍPIOS DE MAFRA E PORTO UNIÃO, NO ESTADO DE SANTA CATARINA, E SÃO MATEUS DO SUL, NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL



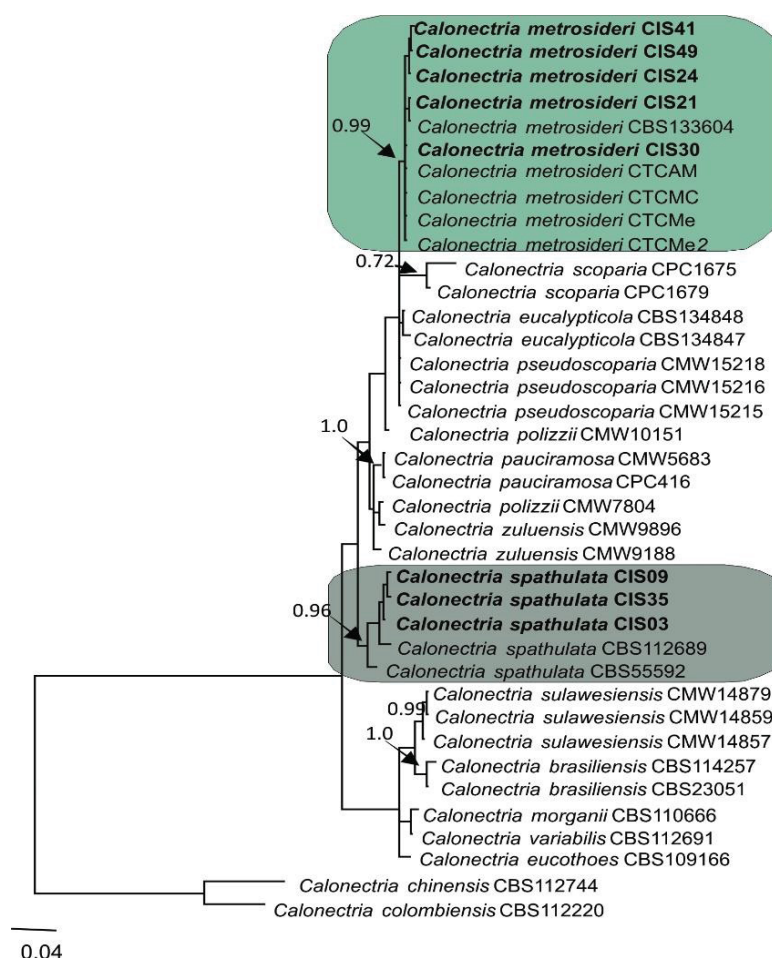
FONTE: A autora (2018).

Com o isolamento direto, foi possível detectar os sinais do patógeno por meio da formação de estruturas do fungo encontradas externamente no tecido foliar doente. *Calonectria* é caracterizado por apresentar esporulação branca brilhante; conidióforos penicilados, de onde se origina uma estrutura denominada estipe, com vesícula terminal de formato característico de cada espécie; e conídios cilíndricos uni ou multiseptados (CROUS; WINGFIELD, 1994).

3.1.1 Análises filogenéticas

As árvores filogenéticas individuais e combinadas foram geradas pelo método de Inferência Bayesiana com um alinhamento de 1.058 pares de base (pb). O modelo HKY+G foi selecionado e incorporado na análise bayesiana. O teste de homogeneidade de partição revelou que as árvores não diferem significativamente entre si e podem ser combinadas ($P = 0,01$). A árvore consenso mostrou que os isolados sequenciados neste estudo foram identificados nas duas espécies citadas: *Calonectria metrosideri* e *Calonectria spathulata*. Os ramos foram suportados com alto valor de probabilidade posterior para *Ca. metrosideri* de 0,99 e *Ca. spathulata* com 0,96 (FIGURA 1.8). Os isolados foram comparados com espécimes de *Calonectria* spp. disponíveis no Genbank (TABELA 1.3).

FIGURA 1.8 – ÁRVORE FILOGENÉTICA PARA *Calonectria metrosideri* E *Calonectria spathulata* OBTIDA POR INFERÊNCIA BAYESIANA DE DADOS COMBINADOS DAS REGIÕES TUB E CAL. ISOLADOS EM NEGRITO FORAM SEQUENCIADOS NESTE ESTUDO.



FONTE: A autora (2018).

NOTA: Valores de probabilidade posterior são mostrados à esquerda nos ramos. A árvore foi enraizada em *Calonectria chinensis* (CBS 112744) e *Calonectria colombiensis* (CBS 112220).

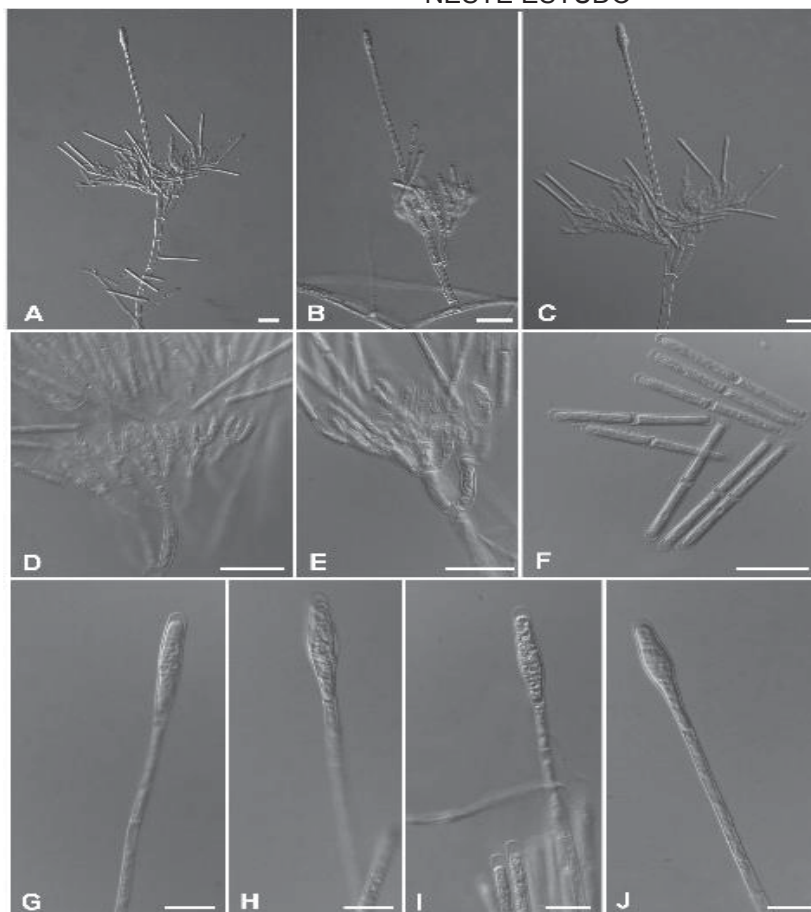
TABELA 1.3 – ISOLADOS DE *Calonectria* spp., ORIGEM, HOSPEDEIRO E NÚMEROS DE ACESSO GENBANK PARA SEQUÊNCIAS DE DNA UTILIZADAS. ISOLADOS EM NEGRITO FORAM SEQUENCIADOS NESTE ESTUDO.

Espécies	Nº isolado	Origem	Hospedeiro	Nº de acesso no GenBank	
				TUB	CAL
<i>Ca. metrosideri</i>	CBS 133604	Brasil	<i>Metrosideros polymorpha</i>	KC294314	KC294305
	CIS41	Brasil	<i>E. benthamii</i>	MK279422	MK279410
	CIS49	Brasil	<i>E. benthamii</i>	MK279423	MK279411
	CIS24	Brasil	<i>E. benthamii</i>	MK279419	MK279407
	CIS21	Brasil	<i>E. benthamii</i>	MK279418	MK279406
	CIS30	Brasil	<i>E. benthamii</i>	MK279420	MK279408
	CTCAM	Brasil	<i>E. benthamii</i>	MK279424	MK279412
	CTCMC	Brasil	<i>E. benthamii</i>	MK279425	MK279413
	CTCMe	Brasil	<i>E. benthamii</i>	MK279426	MK279414
	CTCMe2	Brasil	<i>E. benthamii</i>	MK279427	MK279415
<i>Ca. scoparia</i>	CPC 1675	Brasil	<i>Eucalyptus</i> sp.	FJ972426	GQ267367
	CPC 1679	Brasil	<i>Eucalyptus</i> sp.	-	GQ267368
				KM395965	KM396052
	CBS 134847	Brasil	<i>Eucalyptus</i> sp.	KM395964	KM396051
<i>Ca. pseudoscoparia</i>	CMW 15218	Equador	<i>E. grandis</i>	GQ267229	GQ267441
	CMW 15216	Argentina	<i>E. grandis</i>	GQ267228	GQ267440
	CMW 15215	Argentina	<i>E. grandis</i>	GQ267227	GQ267439
<i>Ca. polizzii</i>	CMW 10151	Itália	<i>A. unedo</i>	GQ267462	FJ972418
	CMW 7804	Itália	<i>Callistemon citrinus</i>	FJ972417	GQ267461
<i>Ca. pauciramosa</i>	CMW 5683	África do Sul	<i>E. grandis</i>	-	GQ267405
	CPC 416	-	<i>E. grandis</i>	-	GQ267404
<i>Ca. zuluensis</i>	CMW 9896	África do Sul	<i>Eucalyptus</i> sp.	FJ972415	GQ267460
	CMW 9188	África do Sul	<i>E. grandis</i>	FJ972414	GQ267459
<i>Ca. spathulata</i>	CBS 112689	Brasil	<i>Araucaria angustifolia</i>	-	GQ267426
	CBS 55592	Brasil	<i>E. viminalis</i>	GQ267215	GQ267427
	CIS09	Brasil	<i>E. benthamii</i>	MK279417	MK279405
	CIS35	Brasil	<i>E. benthamii</i>	MK279421	MK279409
	CIS03	Brasil	<i>E. benthamii</i>	MK279416	MK279404
<i>Ca. sulawesiensis</i>	CMW 14879	Indonésia	<i>Eucalyptus</i> sp.	GQ267222	GQ267434
	CMW 14859	Indonésia	<i>Eucalyptus</i> sp.	GQ267221	GQ267433
	CMW 14857	Indonésia	<i>Eucalyptus</i> sp.	GQ267223	GQ267435
<i>C. brasiliensis</i>	CBS 114257	Brasil	<i>Eucalyptus</i> sp.	GQ267242	GQ267422
	CBS 23051	Brasil	<i>Eucalyptus</i> sp.	GQ267241	GQ267421
<i>Ca. morganii</i>	CBS 110666	USA	<i>Rosa</i> sp.	FJ918509	GQ267423
			<i>Theobroma grandiflorum</i>		
<i>Ca. variabilis</i>	CBS 112691	Brasil	<i>Theobroma grandiflorum</i>	GQ267240	GQ267458
<i>Ca. leucothoes</i>	CBS 109166	USA	<i>Leucothoe axillaris</i>	FJ918508	GQ267392
<i>Ca. chinensis</i>	CBS 112744	China	Solo	AY725618	AY725746
<i>Ca. colombiensis</i>	CBS 112220	Colômbia	Solo	GQ267207	AY725748

3.1.2 Caracterização morfológica

As observações morfológicas foram realizadas apenas em *Ca. metrosideri* (FIGURA 1.9).

FIGURA 1.9 – CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE *Calonectria metrosideri* OBTIDAS NESTE ESTUDO



FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: Conidióforos solitários com apenas uma extensão da estipe (A-C), aparato conidiogênico com ramificações (D-E), conídios monosseptados (F), vesícula (G-J). Escala a= 20 μ m (também aplicado a B-F), g= 10 μ m (também aplicado a H-J)

***Calonectria metrosideri* (FIGURA 1.9)**

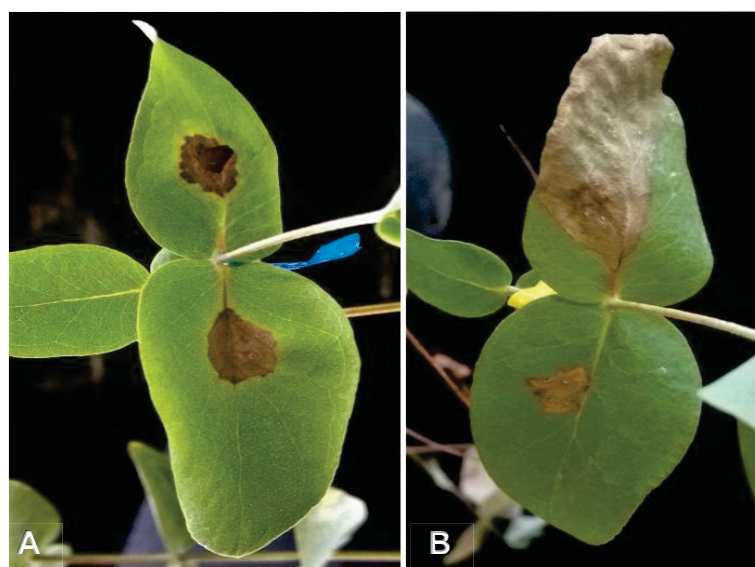
Macroconidióforos consistindo em: ramos férteis em arranjo penicilado; uma estipe septada, hialina, lisa, com 146,5 - 208 x 3 - 4 μ m; uma extensão da estipe septada, ereta para flexuosa, 123,5 - 179 μ m de comprimento 2 - 3,5 μ m de largura no septo apical, terminando em uma vesícula elipsoidal para obpiriforme, 5 - 7,5 μ m de diâmetro. O aparelho conidiogênico com 30,5 - 78 μ m de largura por 29,5 - 80 μ m de comprimento, composto por 2 (-3) ramos férteis, asseptados; o primeiro com 14 - 24,5 x 4 - 5,5 μ m; segundo ramo com 10,5 - 16 x 3 - 4,5 μ m; ramo adicional (-3) com

8,5 - 10,5 x 3 - 4 μm , cada um produzindo 2 - 4 fiálides, hialinas, asseptadas, medindo 9,5 - 12 x 3 - 4 μm , doliforme para reniforme. Conídios monosseptados, hialinos, eretos, (42-) 45 – 49 (-50,5) x 3,5 - 4 μm (média de 47 x 4 μm) com ambas as pontas arredondadas (FIGURA 1.9). Sem fase sexual visualizada. Esta caracterização morfológica está em concordância com a descrita por Alfenas et al. (2013).

3.1.3 Patogenicidade

Os isolados de *Ca. metrosideri* e *Ca. spathulata*, testados nas mudas dos dois clones de *E. benthamii*, induziram sintomas típicos da doença nas plantas inoculadas, com manchas foliares pequenas amarronzadas que progrediram para lesões necróticas (FIGURAS 1.10, 1.11), comprovando a sua patogenicidade. Os fungos foram reisolados de plantas inoculadas e as colônias obtidas mostraram o mesmo padrão observado antes da inoculação, cumprindo, dessa forma, todas as etapas do postulado de Koch.

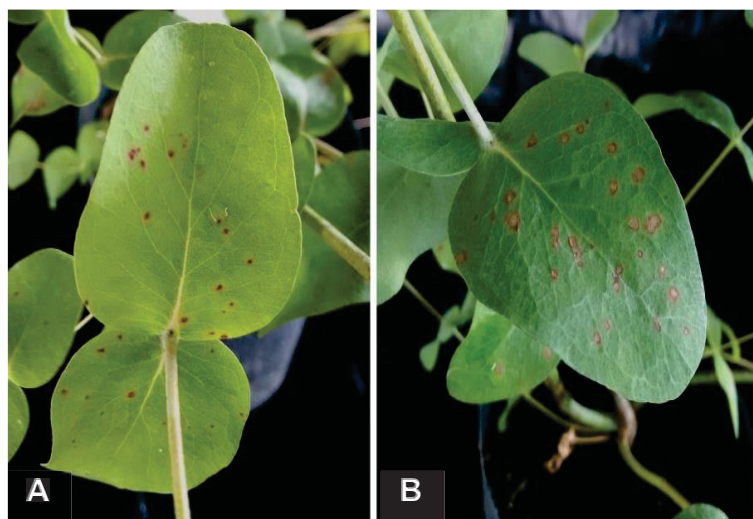
FIGURA 1.10 – SINTOMAS DA MANCHA FOLIAR RESULTANTES DA INOCULAÇÃO COM DISCOS DE MEIO DE CULTURA COM MICÉLIO DE *Calonectria metrosideri* E *Calonectria spathulata* EM MUDAS DE *Eucalyptus benthamii* AVALIADOS AOS 10 DIAS APÓS A INOCULAÇÃO



FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: Sintomas de *Calonectria metrosideri* (A) e de *Calonectria spathulata* (B).

FIGURA 1.11 – SINTOMAS DA MANCHA FOLIAR RESULTANTES DA INOCULAÇÃO POR ASPERSÃO DE ESPOROS DE *Calonectria metrosideri* E *Calonectria spathulata* EM MUDAS DE *Eucalyptus benthamii* AVALIADOS AOS 10 DIAS APÓS A INOCULAÇÃO



FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: Sintomas de *Calonectria metrosideri* (A) e de *Calonectria spathulata* (B).

Conforme os resultados da ANOVA, não houve efeito significativo dos clones e nem da interação clones x fungos, apenas dos fungos. *Calonectria metrosideri* e *Ca. spathulata* diferiram significativamente entre si pelo teste de Tukey com $p \leq 0,05$ (TABELA 1.4). O comprimento médio e a porcentagem de lesão foram maiores para *Ca. spathulata*, o que demonstrou agressividade superior a *Ca. metrosideri* e que pode ser observada nas Figuras 1.10 e 1.11. As testemunhas utilizadas não exibiram sintomas de mancha foliar.

TABELA 1.4 – SEVERIDADE MÉDIA DA CLB CAUSADA POR *Calonectria metrosideri* E *Calonectria spathulata* EM MUDAS DE *Eucalyptus benthamii* AVALIADA POR DOIS MÉTODOS DE INOCULAÇÃO ARTIFICIAL, AOS 10 DIAS APÓS A INOCULAÇÃO

Tratamento	Severidade da doença	
	Método de inoculação com disco de micélio	Método de inoculação por aspersão
	Tamanho da lesão (mm)	Porcentagem de lesão* (%)
<i>Calonectria metrosideri</i>	7,59 b	1,23 b
<i>Calonectria spathulata</i>	11,49 a	2,65 a
Testemunha	0,00 c	0,00 c

NOTA: Médias seguidas por letras distintas diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 95% de probabilidade. *De acordo com a escala de Alfenas e Ferreira (2007) para determinar a porcentagem de lesão.

Observou-se que no décimo dia, a proporção dos sintomas foi mais significativa para o método de inoculação com disco de micélio do que pelo método de aspersão de esporos. A realização de ferimentos na planta utilizados no método de inoculação com discos de micélio, facilitou a penetração do fungo e, conseqüentemente, acelerou o surgimento dos sintomas ao comparar com os sintomas surgidos nas plantas pelo método de inoculação por aspersão, no qual a superfície foliar permaneceu intacta.

Com base nos diferentes valores de severidade observados pela inoculação artificial, constatou-se que existe variabilidade na agressividade de *Ca. metrosideri* e *Ca. spathulata* em clones de *E. benthamii*. Segundo Pataky e Carson (2010), populações de patógenos variam geneticamente tanto para suas habilidades em infectar hospedeiros com genes de resistência específicos (virulência) como para o grau de dano que eles causam (agressividade).

A diferença na agressividade de isolados pode ser constatada em estudos como de Oliveira et al. (2015), em que isolados de *Ceratocystis fimbriata* Ellis & Halst. exibiram diferentes níveis de agressividade, variando de acordo com o clone de eucalipto empregado. Na presente pesquisa, não foram encontradas diferenças significativas entre os dois clones, no entanto, Alfenas et al. (2013) observaram diferenças na resistência à infecção por *Ca. metrosideri* em *Metrosideros tremuloides* e *M. polymorpha*. O conhecimento da variabilidade patogênica entre diferentes isolados de espécies do gênero *Calonectria* é fundamental para o conhecimento da resistência, visando à seleção de plantas resistentes ao patógeno a partir de inoculações sob condições controladas.

3.2 AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À MANCHA FOLIAR EM *Eucalyptus benthamii*

Nos três anos subsequentes de avaliação, os sintomas da mancha atingiram todas as árvores nos três locais avaliados. Desta forma, o nível de severidade da doença, característica escolhida para as análises do presente estudo, é visto como uma boa medida da resposta da árvore para a resistência à doença, pois foi possível separar os diferentes graus de severidade da doença em campo nas progênies avaliadas.

Nas avaliações realizadas, de modo geral, notou-se a presença de manchas foliares, desfolha intensa, sem desrama. Inicialmente, verificou-se a desfolha nos ramos mais baixos, quando a árvore ainda estava com poucas manchas. Com o

passar do tempo, as manchas coalesceram e os ramos permaneciam junto ao tronco, sendo observado, na maioria das vezes, a progressão da doença e o aumento do número de plantas na classe 4 de severidade (desfolha até 2/3 da copa).

A quantidade de danos causados às folhas pela CLB foi elevada, com média de pouco mais de 33% (severidade 2,0) da copa arbórea afetada pela mancha aos 16 meses de idade e mais de 50% (severidade 3,0) da copa afetada aos 27 meses de idade em todos os locais avaliados (TABELA 1.5). Porém, o nível individual de dano nas árvores foi bastante variável, com a folhagem de algumas árvores quase completamente danificadas e desfolha intensa, enquanto outras estavam praticamente intactas, com poucas manchas na parte basal. Essa maior variação foi observada aos 16 meses de idade em todos os locais .

TABELA 1.5 – SEVERIDADE MÉDIA DA CLB CAUSADA POR *Calonectria metrosideri* E *Calonectria spathulata* EM PROGÊNIES E TESTEMUNHAS DE *Eucalyptus benthamii* E A AMPLITUDE DE VARIAÇÃO NOS VALORES, NOS MUNICÍPIOS DE MAFRA E PORTO UNIÃO, NO ESTADO DE SANTA CATARINA, E SÃO MATEUS DO SUL, NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL, AOS 10, 16 E 27 MESES DE IDADE

Severidade média							
Tratamentos	São Mateus do Sul		Mafra			Porto União	
	16 meses	27 meses	10 meses	16 meses	27 meses	16 meses	27 meses
Progênes*	2,12	3,66	3,77	2,28	3,13	2,42	3,37
Testemunhas Clonais	1,98	3,29	3,91	2,19	2,82	2,32	3,05
Testemunhas Progênes	2,17	3,7	3,78	2,34	3,23	2,53	3,36
Variação da severidade média							
Progênes	1,0 - 4,0	2,7 - 4,0	2,0 - 4,0	1,0 - 4,0	2,0 - 4,0	1,0 - 4,0	1,7 - 4,0

FONTE: A autora (2018).

NOTA: *Médias da população formada com as 85 progênes de *E. benthamii*.

LEGENDA: Escala de notas: 0 (plantas sadias), 1 (ausência de desfolha e presença de manchas foliares nos galhos inferiores), 2 (desfolha até 1/3 da árvore – 33%), 3 (desfolha até 1/2 da árvore – 50%), 4 (desfolha até 2/3 da árvore – 66%).

O aumento da severidade média da doença foi reflexo da desfolha intensa das árvores ocasionada pela progressão da mancha. Tal fato está em concordância com Balmelli et al. (2014), os quais verificaram que a relação entre a severidade da mancha foliar e desfolha causada por *Mycosphaerella* sp. foi alta, o que pode ser explicado pela desfolha ser um sintoma secundário de manchas foliares. No entanto, deve-se salientar que, com a mudança da fenologia das árvores ao longo do tempo, após a desfolha do eucalipto, surgem folhas adultas que apresentam maior resistência ao patógeno (ALFENAS et al., 2009) e, segundo Ferreira (1989), os ramos com folhas

tendem a ficar mais distantes da fonte original de inóculo de *Calonectria*, que é o solo. O progresso na severidade da doença pode ser observado, também, no trabalho de Schultz et al. (2015) que, ao estudarem a severidade da mancha foliar de *C. candelabrum* em plantios de *E. benthamii* em diferentes idades, verificaram severidade de 1,2 a 2,9, ou seja, até 50% da copa, numa escala de 0 a 4.

Por meio dos valores médios da severidade, pôde-se detectar o potencial de resistência à mancha foliar nas respectivas progênes avaliadas nos diferentes locais. A severidade média da mancha foliar constatada para todas as progênes de *E. benthamii* foi semelhante às severidades médias das testemunhas nas avaliações realizadas dos três locais (TABELA 1.5). O fato demonstra o potencial das progênes em relação à resistência à mancha foliar e corrobora com a ideia de que a partir da observação da amplitude da severidade para as 85 progênes, aquelas que obtiveram desempenho superior às testemunhas são as que podem apresentar potencial para exploração da sua resistência em um programa de melhoramento.

Na Tabela 1.6 está apresentada a posição relativa das testemunhas na classificação baseada na severidade média de mancha foliar, em cada avaliação, nos três locais. A severidade média obtida para cada família no teste de progênes está nos Apêndices 1, 2 e 3. Ao analisar a posição relativa, várias progênes testadas obtiveram severidade média da doença menor que as testemunhas.

TABELA 1.6 – POSIÇÃO RELATIVA DAS TESTEMUNHAS DE *Eucalyptus benthamii*, EM RELAÇÃO À CLASSIFICAÇÃO BASEADA NA SEVERIDADE MÉDIA DA CLB, NOS MUNICÍPIOS DE MAFRA E PORTO UNIÃO, NO ESTADO DE SANTA CATARINA, E SÃO MATEUS DO SUL, NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL, AOS 10, 16 E 27 MESES DE IDADE

Posição Relativa na Classificação							
Tratamentos	São Mateus do Sul		Mafra			Porto União	
	16 meses	27 meses	10 meses	16 meses	27 meses	16 meses	27 meses
C1	1	2	79	14	3	10	17
C2	37	6	83	44	16	64	8
C3	2	1	56	45	15	21	2
T1	76	55	55	41	31	34	13
T2	66	73	30	76	85	83	77
T3	64	37	52	62	46	63	54

FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: C1: Testemunha clonal 1; C2: Testemunha clonal 2; C3: Testemunha clonal 3; T1: Testemunha progênie 1; T2: Testemunha progênie 2; T3: Testemunha progênie 3.

Pode ser observado nos Apêndices 1, 2 e 3 que, em Mafra, as progênes 61, 63, 93 e 1292 se mantiveram entre as 10 primeiras posições na classificação nas

avaliações aos 16 e 27 meses de idade, e a progênie 433 se manteve entre as 10 primeiras posições nas avaliações aos 10 e 27 meses. Em Porto União, as progênies 283 e 613 ficaram nas primeiras posições nas duas avaliações. Em São Mateus do Sul, duas testemunhas clonais apresentaram menor grau de severidade da CLB nas avaliações de campo realizadas. Todas as progênies com desempenho superior as testemunhas apresentam potencial para serem analisadas, buscando disponibilizar material genético de *E. benthamii* com maior resistência à mancha foliar.

A morte de plantas em virtude da CLB não tem sido observada. No entanto, doenças foliares como essa provocam sérios danos por reduzir a área fotossintética da planta, além de causar intensas desfolhas, e, conseqüentemente, diminuir a produtividade. Milgate et al. (2005) constataram que o dano de *M. nubilosa*, patógeno foliar, teve efeito deletério sobre o crescimento das árvores de *E. globulus*, tanto ao nível fenotípico como genético. Dois mecanismos podem ser sugeridos para evitar os efeitos deletérios da doença: um pela resistência da folhagem juvenil *per se* e o outro pela mudança ontogenética para a folhagem adulta resistente.

O plantio de clones, progênies, procedências ou espécies resistentes constitui a melhor estratégia de controle para a doença (ALFENAS et al., 2009). Para isso, deve-se considerar a seleção específica de genótipos resistentes para a região de plantio, em virtude de características edafoclimáticas e outras condições que afetam a interação genótipo x ambiente. Como medida a curto prazo, a seleção fenotípica pode ser a melhor opção para fases iniciais de um programa de melhoramento.

4 CONCLUSÕES

Os sintomas da doença foram verificados em todas as árvores e resultaram em mais de 50% de desfolha da copa em árvores com mais de dois anos de idade.

Caracteres morfológicos e análises filogenéticas indicaram as espécies *Calonectria metrosideri* e *Calonectria spathulata* como os agentes causais da mancha foliar em *Eucalyptus benthamii*.

Este é o primeiro relato de ambas as espécies em árvores de *Eucalyptus benthamii* e o primeiro relato de *Calonectria metrosideri* em plantios do gênero *Eucalyptus* em nível mundial.

Constatou-se no teste de patogenicidade que *Calonectria spathulata* foi mais agressivo do que *Calonectria metrosideri*.

As progênies de *Eucalyptus benthamii* apresentam potencial para exploração da sua variabilidade, buscando disponibilizar material genético com maior resistência a mancha foliar.

REFERÊNCIAS

ALFENAS, A. C. Fungos do gênero *Cylindrocladium* como patógenos florestais no Brasil. **Fitopatologia Brasileira**, v. 11, p. 275-277, 1986.

ALFENAS, A. C.; FERREIRA, F. A. Inoculação de fungos fitopatogênicos. In: ALFENAS, A. C.; MAFIA, R. G. (Ed.). **Métodos em Fitopatologia**. Viçosa: UFV, 2007. p. 117-137.

ALFENAS, A.C.; ZAUZA, E.A.; MAFIA, R.G.; ASSIS, T.F. **Clonagem e doenças do eucalipto**. 2ª edição. Editora UFV. 2009. 500 p.

ALFENAS, R. F.; PEREIRA, O. L.; FERREIRA, M. A.; JORGE, V. L.; CROUS, P. W.; ALFENAS, A. C. *Calonectria metrosideri*, a highly aggressive pathogen causing leaf blight, root rot, and wilt of *Metrosideros* spp. in Brazil. **Forest Pathology**, v. 43, 2013.

ALFENAS, R. F.; LOMBARD, L.; PEREIRA, O. L.; ALFENAS, A. C.; CROUS, P. W. Diversity and potential impact of *Calonectria* species in *Eucalyptus* plantations in Brazil. **Studies in Mycology**, v. 80, p. 89-130. 2015.

BALMELLI, G.; SIMETO, S.; MARRONI, V.; ALTIER, N.; DIEZ, J. J. Genetic variation for resistance to *Mycosphaerella* leaf disease and *Eucalyptus* rust on *Eucalyptus globulus* in Uruguay. **Australasian Plant Pathology**, v. 43, p. 97-107, 2014.

BARNETT, H. L.; HUNTER, B. B. **Illustrated genera of imperfect fungi**. 3. ed, Burgess Publishing Co., Minneapolis, 241 p. 1972.

BLUM, L. E. B.; DIANESE, J. C.; COSTA C. L. Comparative pathology of *Cylindrocladium clavatum* and *C. scoparium* on *Eucalyptus* spp. and screening of *Eucalyptus* provenances for resistance to *Cylindrocladium* damping-off. **Tropical Pest Management**, v. 38, n. 2, p. 155-159, 1992.

CARBONE, I.; KOHN, L. M. A method for designing primer sets for speciation studies in filamentous ascomycetes. **Mycologia**. v. 91, p. 553-556, 1999.

CHEN, Q. Z.; GUO, W. S.; YE, X. Z.; FENG, L. Z.; HUANG, X. P.; WU, Y. Z. Identification of *Calonectria* associated with *Eucalyptus* leaf blight in Fujian province. **Jornal do Fujian Forestry College**, v. 33, n. 2, p. 176-182, 2013.

CROUS, P. W. **Taxonomy and pathology of *Cylindrocladium* (*Calonectria*) and allied genera**. St Paul MN, USA. APS Press. 2002.

CROUS, P. W.; WINGFIELD, M. J. A monograph of *Cylindrocladium*, including anamorphs of *Calonectria*. **Mycotaxon**, v. 51, p. 341- 435, 1994.

DIANESE, J. C.; RIBEIRO, W. R. C.; URBEN A. F. Root rot of soybean caused by *Cylindrocladium clavatum* in central Brazil. **Plant Disease**, v. 70, n. 10, p. 977-980, 1986.

EL-GHOLL, N. E.; KIMBROUGH, J. W.; BARNARD, E. L.; ALFIERI, S. A.; SCHOULTIES, C. L. *Calonectria spathulata* sp. nov. **Mycotaxon**, v. 26, p. 151-164, 1986.

FARRIS, J. D.; M. KALLERSJ, M.; KLUGE, A. G.; BULT, C. Testing significance of incongruence. **Cladistics** v. 10, p. 315–319, 1994.

FERREIRA, F. A. **Patologia florestal. Principais doenças florestais no Brasil**. Viçosa, MG, Sociedade de Investigações Florestais, 1989. 570 p.

FERREIRA, F. A.; ALFENAS, A. C.; MOREIRA, A. M; DEMUNER, N. L. Mancha-de-pteridis: Doença foliar de eucalypto em áreas tropicais brasileiras. **Fitopatologia Brasileira**, v. 20, p. 107-110. 1995.

FERREIRA, M. A.; ALFENAS, A. C.; BINOTI, D. H. B.; MACHADO, P. S.; MOUNTEER, A. H. Slow sand filtration eradicates eucalypt clonal nursery plant pathogens from recycled irrigation water in Brazil. **Tropical Plant Pathology**, v. 37, n. 5, p. 319-325, 2012.

FONSECA, S.M.; RESENDE, M. D. V de; ALFENAS, A. C.; GUIMARÃES, L. M. S.; ASSIS, T. F.; GRATTAPAGLIA, D. **Manual prático de melhoramento genético do eucalipto**. 1. ed., Viçosa: Editora UFV, 2010. 200 p.

GRAÇA, M. E. C.; SHIMIZU, J. Y.; TAVARES, F. R. Capacidade de rebrota e de enraizamento de *Eucalyptus benthamii*. In: **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 39, p. 135-138, 1999.

GRAÇA, R. N.; ALFENAS, A. C.; MAFFIA, L. A.; TITON, M.; ALFENAS, R. F.; LAU, D.; ROCABADO, J. M. A. Factors influencing infection of eucalypts by *Cylindrocladium pteridis*. **Plant Pathology**, v. 58. n. 5, p. 971-981, 2009.

GRIGOLETTI JR., A.; BIZI, R. M.; AUER, C. G. Metodologia para inoculação padronizada de *Botrytis cinerea* em *Eucalyptus dunnii*. Colombo, PR. **Comunicado Técnico**, nº 134: Embrapa-CNPQ, 2005.

HEPPERLE, D. **SeqAssem©. A sequence analysis tool, contig assembler and trace data visualization tool for molecular sequences**. 2004. Disponível em: < <http://www.sequentix.de>>. Acesso em: Set. 2018.

HIROOKA, Y.; TAKEUCHI, J.; HORIE, H.; NATSUAKI, K. T. *Cylindrocladium* brown leaf spot on *Howea belmoreana* caused by *Calonectria ilicicola* (anamorph: *Cylindrocladium parasiticum*) in Japan. **Journal of General Plant Pathology**, v. 74, n. 1, p. 66-70, 2008.

HODGES, C. S.; MAY, L. C. A root disease of pine, *Araucaria*, and *Eucalyptus* in Brazil caused by a new species of *Cylindrocladium*. **Phytopathology**, v. 62, p. 898- 901. 1972.

HODGES, C. S.; REIS, M. S.; MAY, L. C. Duas enfermidades em plantações de essências florestais exóticas no Brasil. **Brasil Florestal**, v. 6, p. 5-12, 1973.

HUELSENBECK, J. P.; RONQUIST, F. MRBAYES: Bayesian inference of phylogenetic trees. **Bioinformatics**. v. 17, p.754–755, 2001.

KRUGNER, T. L.; GUERRINI, I. A.; AUER, C. G. Surto epidêmico da mancha foliar causada por *Cylindrocladium* spp e sua relação com o crescimento de espécies/procedências de *Eucalyptus* na região de Tucuruí, PA. **IPEF**, Piracicaba, n. 43/44, p. 74-78, 1991.

LARGET, B.; SIMON, D. L. Markov chain Monte Carlo algorithms for the Bayesian analysis of phylogenetic trees. **Molecular Biology and Evolution**, v. 16, p. 750-759. 1999.

LOMBARD, L.; RODAS, C. A.; CROUS, P. W.; WINGFIELD, B. D.; WINGFIELD, M. J. *Calonectria* (*Cylindrocladium*) species associated with dying *Pinus* cuttings. **Persoonia**, v. 23, p. 41-47, 2009.

LOMBARD, L.; WINGFIELD, M. J.; ALFENAS, A. C.; CROUS, P. W. The forgotten *Calonectria* collection: Pouring old wine into new bags. **Studies in Mycology**, v. 85, p. 159-198, 2016.

LOMBARD, L.; CROUS, P. W.; WINGFIELD, B. D.; WINGFIELD, M. J. Species concepts in *Calonectria* (*Cylindrocladium*). **Studies in Mycology**, V. 66, 2010.

MAFIA, R. G.; ALFENAS, A. C.; MAFFIA, L. A.; FERREIRA, E. M.; BINOTI, D. H. B.; MAFIA, G. M. Plant growth promoting rhizobacteria as agents in the biocontrol of eucalyptus minicutting rot. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, n. 1, p. 10-17, 2009.

MILGATE, A. W.; POTTS, B. M.; JOYCE, K.; MOHAMMED, C.; VAILLANCOURT, R. E. Genetic variation in *Eucalyptus globulus* for susceptibility to *Mycosphaerella nubilosa* and its association with tree growth. **Australasian Plant Pathology**, v. 34, p. 11-18, 2005.

NIRENBERG, H. A simplified method for identifying *Fusarium* spp. Occurring on wheat. **Canadian Journal of Botany**, v. 59, p. 1599-1609, 1981.

NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G. I. B.; KLOCK, U. Caracterização anatômica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 67-76, 1998.

NOVAES, Q. S.; SOUZA, V. C.; DIAS, P. C.; SANTOS, A.; BEZERRA, J. L. *Toona ciliata*, a new host of *Cylindrocladium clavatum* in Brazil. **Summa Phytopathologica**, v. 38, n. 3, p. 251-252, 2012.

O'DONNELL, K.; CIGELNIK, E. Two divergent intragenomic rDNA ITS2 types within a monophyletic lineage of the fungus *Fusarium* are nonorthologous. **Mol. Phylogenet. Evol.**, v. 7, p. 103–116. 1997.

OLIVEIRA, L. S. S.; GUIMARÃES, L. M. S.; FERREIRA, M. A.; NUNES, A. S.; PIMENTA, L. V. A.; ALFENAS, A. C. Aggressiveness, cultural characteristics and genetic variation of *Ceratocystis fimbriata* on *Eucalyptus* spp. **Forest Pathology**, v. 45, p. 505-514, 2015.

PIRES, I. E.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, R. L.; RESENDE JR.; M. F. R. **Genética florestal**. 1 ed, Arka: Viçosa-MG, 2011. 318 p.

POLIZZI, G.; VITALE, A.; AIELLO, D.; GUARNACCIA, V.; CROUS, P.; LOMBARD, L. First report of *Calonectria ilicicola* causing a new disease on Laurus (*Laurus nobilis*) in Europe. **Journal of Phytopathology**, v. 160, n. 1, p. 41- 44, 2012.

REZENDE, E. H.; AUER, C. G.; HIGA, A. R.; SANTOS, A. F.; SILVA, L. D. Fungos associados à mancha foliar e ao cancro de *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden), em dois locais do estado de São Paulo. **Enciclopédia Biosfera**, v. 14, n. 25, p. 726, 2017.

RONQUIST, F.; TESLENKO, M.; MARK, P. VAN DER. MrBayes 3.2: efficient Bayesian phylogenetic inference and model choice across a large model space. **Systematic Biology**. v. 61, p. 539–542, 2012.

SCHULTZ, B. **Doenças bióticas e abióticas em *Eucalyptus benthamii* Maiden**. 2011. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

SCHULTZ, B.; SBRAVATTI JUNIOR, J. A.; AUER, C. G.; SANTOS, Á. F. Impacto da mancha foliar causada por *Cylindrocladium candelabrum* em plantios jovens de *Eucalyptus benthamii* em Rio Negrinho - SC. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 2, p. 307-316. 2015.

ZHU, J. H.; GUO, W. S.; CHEN, H. M.; WU, J. Q.; CHEN, Q. Z.; MENG, X. M. Loss estimation of eucalyptus growth caused by of eucalyptus dieback. **For Pest Dis**, v. 30, n. 5, p. 6-10, 2011.

CAPÍTULO II

RESISTÊNCIA GENÉTICA À MANCHA FOLIAR DE *Calonectria metrosideri* E *Calonectria spathulata* EM PROGÊNIES DE *Eucalyptus benthamii* NO SUL DO BRASIL

RESUMO

Os objetivos deste capítulo foram estudar o controle genético quantitativo da resistência à mancha foliar ocasionada por *Calonectria metrosideri* e *Calonectria spathulata*, e investigar as diferenças de estimativas da herdabilidade considerando o sistema reprodutivo misto e o sistema reprodutivo predominantemente alógamo em um teste de progênies de polinização aberta de *Eucalyptus benthamii* replicado em três municípios nos estados de Santa Catarina e Paraná, Brasil. O experimento, constituído de 85 progênies e seis testemunhas com sintomas de mancha foliar, foi avaliado nos diferentes locais quanto à severidade da doença aos 10, 16 e 27 meses de idade. Foi utilizada escala de avaliação que variou de zero (sem a doença) a quatro (desfolha até 2/3 da árvore). Os dados foram analisados no *software* R com uso do pacote ASReml. As estimativas de herdabilidade média de progênies (h_{mp}^2) variaram de 0,14 a 0,64 nas análises individuais; e na análise conjunta foi de 0,39, o que sugere elevados ganhos genéticos para seleção nos locais. Ocorreram superestimativas de mais de 100% para os ganhos genéticos de seleção ao considerar *E. benthamii* como espécie alógama quando, de fato, possui sistema reprodutivo misto. A avaliação conjunta revelou correlação genética das progênies de 0,62; valor abaixo do recomendado para a formação de uma única zona de melhoramento para os três locais, indicando que a seleção de materiais resistentes à mancha deverá ser realizada para cada local. Os testes de progênies instalados nos diferentes locais exibiram moderada variabilidade nas análises individuais, com potencial para se tornar uma população base de melhoramento. A avaliação realizada aos 27 meses é a mais indicada para ser usada no processo de seleção, com base nas médias *BLUP* das progênies, uma vez que, nessa avaliação, foi verificado melhor controle genético dessa variável.

Palavras-chave: Herdabilidade, REML, variabilidade genética, seleção genética, sistema reprodutivo misto.

CHAPTER II

GENETIC RESISTANCE TO LEAF SPOTS FROM *Calonectria metrosideri* AND *Calonectria spathulata* IN *Eucalyptus benthamii* PROGENIES IN SOUTHERN BRAZIL

ABSTRACT

The objectives of this chapter were to study the quantitative genetic control of resistance to leaf spots caused by *Calonectria metrosideri* and *Calonectria spathulata* and investigate differences in estimates of heritability considering both a mixed reproductive system and the more commonly used allogamous reproductive system. The study consisted of open pollinated *Eucalyptus benthamii* progenies established in three municipalities in the states of Santa Catarina and Paraná, Brazil. The experiment included 85 progenies and six controls with leaf spot symptoms that were evaluated at each study site for disease severity at 10, 16, and 27 months of age. The evaluation scale ranged from zero (without the disease) to four (defoliation of up to 2/3 of the tree). The data were analyzed using the ASReml package in the R software. Estimates of mean heritability of progenies (h_{mp}^2) ranged from 0.14 to 0.64 in the individual analyses and in the joint analysis the heritability was 0.39, suggesting high genetic gains for selection at each site. Overestimates of genetic selection gains of more than 100% have occurred when *E. benthamii* is considered as an allogamous species; however, the species has a mixed reproductive system. The joint evaluation revealed a genetic correlation in progenies of 0.62, a value below that recommended for the formation of a single improvement zone that includes the three sites. Therefore, the selection of leaf spot resistant genetic materials should be performed for each site. Progeny tests at the study sites exhibited moderate variability in the individual analyses, with the potential to provide the basis for a breeding population. Based on the BLUP averages of the progenies, assessment at 27 months of age is the most appropriate for the selection process since this stage showed a better genetic control of leaf spot resistance.

Keywords: Heritability; REML; genetic variability; *Calonectria metrosideri*; *Calonectria spathulata*

1 INTRODUÇÃO

Até a década de 1970, o gênero *Eucalyptus* era considerado essencialmente livre de doenças (MIRANDA et al., 2013). Fatores como a expansão das plantações em regiões de clima quente e úmido; o plantio monoclonal de genótipos mais produtivos sem o prévio conhecimento de sua resistência ao ataque de patógenos e os ciclos sucessivos da cultura numa mesma área de plantio, favoreceram a ocorrência de várias doenças na eucaliptocultura (ALFENAS et al., 2009).

A mancha foliar em *Eucalyptus*, incitada pelos fungos do gênero *Calonectria* (anamorfo *Cylindrocladium*), é uma das principais doenças do eucalipto que ocasiona lesões nas folhas do hospedeiro. Com o progresso da doença, a mesma pode induzir acentuada desfolha nos terços basais, medianos e apicais das copas das árvores, a partir do primeiro ano de plantio. Estes fungos sobrevivem como escleródios em tecidos de plantas infectadas e se dissemina no campo por meio de respingos de chuva com solo contendo inóculo, para folhas e ramos do terço inferior da copa das árvores (FERREIRA, 1989; ALFENAS et al., 2009).

Apesar da recuperação natural das plantas infectadas em períodos subsequentes desfavoráveis à infecção, a atividade destes fungos pode ser altamente significativa, pois o alto índice de redução da área fotossintética poderá diminuir consideravelmente o incremento volumétrico das plantas afetadas (ALFENAS et al., 2009). Estima-se que em Fujian, na China, as perdas econômicas anuais devidas ao gênero *Calonectria* sejam superiores a 7,8 milhões de dólares (ZHU et al., 2011).

Eucalyptus benthamii Maiden et Cabbage é uma das principais espécies do gênero *Eucalyptus* que são indicadas para áreas de ocorrência de geadas severas. Resultados de alguns testes e plantios pilotos com *E. benthamii* na região sul do Brasil indicam que a ocorrência de geadas não afeta o desenvolvimento das plantas, como também não reduz a taxa de sobrevivência nos plantios com a espécie (EMBRAPA, 1988), desde que o plantio seja realizado na época adequada. De acordo com Lima (2007), o *E. benthamii* tem se mostrado uma espécie potencial para uso energético na região Sul do Brasil.

Apesar de ser uma espécie naturalmente resistente a geadas severas, Schultz et al. (2015) constataram sua suscetibilidade à mancha foliar causada por *Calonectria candelabra* (= *Cylindrocladium candelabrum*) tanto em mudas em viveiros quanto em plantios jovens. A ampla variabilidade inter e intraespecífica da resistência à mancha-

de-calonectria (CLB), observada em plântulas de mudas e clones de eucalipto, permite a seleção de genótipos resistentes para reduzir as perdas causadas pela doença (ALFENAS et al., 2009; FONSECA et al., 2010). Estudos como o de Rezende (2018), investigaram a resistência genética a esse patógeno para *Eucalyptus grandis*, mas nada se sabe sobre a variação quantitativa e herdabilidade da resistência à mancha foliar em *E. benthamii*, uma das espécies mais recomendadas do gênero na região Sul do Brasil.

Uma seleção mais eficaz pode ser realizada quando se considera não apenas os valores fenotípicos dos indivíduos, mas, também, as médias de suas progênes e, ou, de seus irmãos. Fazer o melhor uso de tais informações combinadas requer conhecimento de parâmetros genéticos, especialmente variação genética, herdabilidade, e por extensão, a interação genótipo x ambiente. A variação genética para suscetibilidade a várias doenças foi demonstrada em trabalhos como os de Milgate et al. (2005), Xavier et al. (2007), Miranda et al. (2013), Balmelli et al. (2014), Rezende (2018) e pode ser explorada em programas de melhoramento genético.

Estudos de genética quantitativa sobre muitas espécies foram realizados assumindo que as mesmas possuem sistema reprodutivo predominantemente autógamo, cuja taxa de cruzamento (t) varia de 0,00 a 0,05 ou predominantemente alógamo, com $0,95 \leq t < 1,00$ (FUCHS et al., 2015). Embora a maioria das espécies florestais de importância econômica sejam predominantemente alógamas, espécies de relevância como o eucalipto apresentam sistema reprodutivo misto, conforme constatado por Eldridge et al. (1993) para 12 espécies do gênero.

Como consequência do sistema reprodutivo misto, progênes de polinização aberta podem ser compostas por misturas de indivíduos com diferentes graus de parentescos como, irmãos de autofecundação, irmãos-completos, meios-irmãos e irmãos de autofecundação e cruzamento (SQUILLACE, 1974; RITLAND, 1989), o que leva, por exemplo, a taxas de cruzamento entre 0,45 e 0,96, constatadas por Eldridge et al. (1993). A suposição de que o sistema reprodutivo de eucalipto é predominantemente alógamo é, portanto, inadequado (TAMBARUSSI et al., 2018).

Apesar desse aspecto ter sido ignorado por longo tempo, e continua sendo em alguns casos, tem-se verificado que ao assumir sistemas reprodutivos predominantemente alógamos ou autógamos, quando de fato, as espécies são de sistema reprodutivo misto, ocorrerão erros na predição dos valores genéticos, tais como superestimativas da herdabilidade, variâncias genéticas e, conseqüentemente,

influenciarão na seleção de genótipos superiores (VENCOVSKY et al., 2001; SEBBENN, 2006; TAMBARUSSI et al., 2018), tudo isso em função dos diferentes graus de endogamia dentro de uma população.

A suposição de que a variância genética das progênes (σ_p^2) é igual a 1/4 da variância genética aditiva para o caso dos testes de progênes de polinização aberta de eucalipto é uma simplificação enganosa (TAMBARUSSI et al., 2018). De acordo com Squillace (1974), essa suposição é válida para famílias verdadeiramente de meios-irmãos, caso contrário, é provável que o coeficiente de parentesco (p) seja menor que 1/4. O coeficiente de parentesco é uma medida da proporção de genes que dois indivíduos herdaram diretamente de um ancestral comum (WRIGHT, 1922) e pode ser utilizado para estimar apropriadamente a variância aditiva no cálculo da herdabilidade no sentido restrito. O uso de marcadores moleculares para fornecer informações sobre os sistemas de reprodução de árvores florestais está tornando-se mais prevalente, contribuindo para o fornecimento de melhores estimativas para o caso do sistema reprodutivo misto.

Este capítulo teve como objetivos estudar o controle genético quantitativo da resistência à mancha foliar ocasionada por *Calonectria metrosideri* e *Calonectria spathulata* em *E. benthamii*; e investigar as diferenças de estimativas da herdabilidade considerando o sistema reprodutivo misto e o sistema reprodutivo predominantemente alógamo, em um teste de progênes de polinização aberta replicado em três municípios nos estados de Santa Catarina e Paraná, Brasil.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS

Um teste de progênes de polinização aberta de *E. benthamii* foi estabelecido em 2015 e replicado nos municípios de Mafra e Porto União, em Santa Catarina, e em São Mateus do Sul, no Estado do Paraná, Brasil. O teste foi constituído por 85 progênes de polinização aberta e seis testemunhas (três clones comerciais e três *bulk* de *E. benthamii*) (TABELA 2.1).

Foi utilizado o delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro blocos e cinco árvores por parcela, com espaçamento de 2,5 x 2,5 m, totalizando 1.820 árvores em cada local de avaliação. Para reduzir o efeito de borda foram utilizadas duas linhas de bordadura compostas por *Eucalyptus dunnii*.

TABELA 2.1 – PROGÊNES E PROCEDÊNCIAS DE *E. benthamii* UTILIZADAS NAS AVALIAÇÕES NOS MUNICÍPIOS DE MAFRA E PORTO UNIÃO, NO ESTADO DE SANTA CATARINA, E SÃO MATEUS DO SUL, NO ESTADO DO PARANÁ, BRASIL

Tratamento	Nº Famílias	Procedência	Origem
Progênes	54	Candói-PR	Bents Basin – Austrália
Progênes	28	Jaguariaíva-PR	Kedumba Valley – Austrália
Progênes	3	Bio Bio-Chile	Kedumba Valley – Austrália
Clone	3	Guarapuava-PR	APS Candói – PR, Brasil
<i>Bulk</i>	1	Candói-PR	Bents Basin – Austrália
<i>Bulk</i>	1	Campo Alegre-SC	Oeste de Sidney - Austrália
<i>Bulk</i>	1	Vargem Bonita-SC	Oeste de Sidney - Austrália

FONTE: GISELA P. ANDREJOW (2018).

Os três locais envolvidos apresentam altitudes entre 755 a 805 m. De acordo com a classificação de Koppen, os climas foram classificados como Cfb (clima temperado com verão ameno). A precipitação média anual das áreas experimentais é de 2.350 mm e a temperatura média anual é de 18,5 °C. O solo da área experimental em Mafra foi caracterizado como Argissolo Vermelho distrófico típico; em Porto União como Plintossolo Háplico distrófico típico; e em São Mateus do Sul como Nitossolo Vermelho distrófico típico (TABELA 2.2).

TABELA 2.2 – CARACTERÍSTICAS EDAFOCLIMÁTICAS DOS TRÊS LOCAIS DE ESTUDO

Local	Lat. (S)	Long. (W)	Clima	Alt.	Temp.	Precip.	Solo
São Mateus do Sul/PR	26°03'28"	50°21'56"	Cfb	785	18,5	2350,3	NVd1.2
Mafra/SC	26°08'35"	50°07'19"	Cfb	805	18,5	2350,3	PVa2.1
Porto União/SC	26°18'10"	50°00'27"	Cfb	755	18,5	2350,3	FXd1

FONTE: ANDREJOW (2018).

LEGENDA: Lat. – latitude; Long. – longitude; Alt. - altitude (m); Temp. - temperatura média anual (°C); Precip. - precipitação média anual (mm).

2.2 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DA DOENÇA

As árvores foram avaliadas individualmente quanto à incidência da mancha foliar e à severidade da doença aos 10, 16 e 27 meses de idade. Aos 10 meses, a avaliação foi realizada apenas no teste instalado em Mafra, SC. Uma escala diagramática para quantificar a severidade da doença foi utilizada segundo metodologia descrita por Krugner et al. (1991) e adaptada por Schultz (2011). Notas foram atribuídas à severidade da doença de acordo com a seguinte escala: 0 = ausência da doença; 1 = ausência de desfolha e presença de manchas foliares nos galhos inferiores; 2 = desfolha até 1/3 da árvore; 3 = desfolha até 1/2 da árvore; 4 = desfolha até 2/3 da árvore, conforme Figura 1.6 do capítulo anterior (ver página 61).

2.3 ANÁLISES ESTATÍSTICO-GENÉTICAS DOS DADOS

A análise genética da resistência à mancha foliar foi baseada na suposição de que a respectiva característica de interesse tem herança poligênica. Para favorecer e cumprir o pressuposto estatístico da normalidade dos resíduos nas análises dos componentes de variância da seleção genotípica, foi utilizada a média das notas das cinco plantas por parcela experimental, nos respectivos blocos, para cada local de estudo.

Na realização das análises estatísticas da seleção genotípica, foi utilizada a abordagem de modelos mistos, empregando-se o pacote ASReml (Gilmour et al., 2009) no *software* R (R CORE TEAM, 2018). Os dados foram submetidos às análises por meio da Máxima Verossimilhança Restrita (REML) e pelo Melhor Preditor Genético

Linear Não-Viesado (BLUP) para a obtenção dos componentes de variância e dos valores genéticos.

2.3.1 Análises de variância individual: por local e por período de avaliação

As predições dos valores genotípicos das progênes em cada avaliação por local (análises individuais) foram obtidas pela análise dos dados de severidade de acordo com o seguinte modelo representado na Equação (1):

$$y_{ij} = \mu + t_i + b_j + e_{ij} \quad \text{Eq. [1]}$$

Em que:

- y_{ij} é o valor observado do tratamento i no bloco j ;
- μ é a média geral;
- t_i é o efeito do tratamento i , no qual é decomposto em m_i que é o efeito fixo das testemunhas clonais i ($i = 1$ a 3) e p_i que é o efeito aleatório das progênes i , sendo que $p \sim N(0, \sigma_p^2)$, σ_p^2 é a variância genética entre as progênes;
- b_j é o efeito fixo do bloco j ($j = 1, 2, 3$ e 4);
- e_{ij} é o efeito aleatório do erro ou resíduo associado ao tratamento i no bloco j , sendo $e \sim N(0, \sigma_e^2)$, σ_e^2 é a variância residual.

2.3.2 Análises de variância conjunta para os locais: por período de avaliação

Para a análise conjunta das avaliações aos 16 e 27 meses para todos os locais, foi considerado o seguinte modelo representado na Equação (2):

$$y_{ijn} = \mu + t_i + b_{jn} + l_n + tl_{in} + e_{ijn} \quad \text{Eq. [2]}$$

Em que:

- y_{ijn} é o valor observado do tratamento i no bloco j , dentro do local n ;
- μ é a média geral;
- t_i é o efeito do tratamento i , no qual é decomposto em m_i que é o efeito fixo das testemunhas clonais i ($i = 1$ a 3) e p_i que é o efeito aleatório das progênes i , sendo que $p \sim N(0, \sigma_p^2)$, σ_p^2 é a variância genética entre as progênes;
- b_{jn} é o efeito fixo do bloco j ($j = 1, 2, 3$ e 4) dentro do local n ;
- l_n é o efeito fixo do local n ;

- tl_{in} é a interação das progênes i com os locais n;
- e_{ij} é o efeito aleatório do erro ou resíduo associado ao tratamento i no bloco j, no local n, sendo $e \sim N(0, \sigma_e^2)$, σ_e^2 é a variância residual.

2.3.3 Análises de variância conjunta para os locais: todos os períodos de avaliações

Para a análise conjunta das sete avaliações do teste de progênes de *E. benthamii* nos três locais de estudo, foi considerado o seguinte modelo representado na Equação (3):

$$y_{ijkn} = \mu + t_i + b_{jkn} + l_n + a_k + tl_{in} + ta_{ik} + tla_{ikn} + e_{ijkn} \quad \text{Eq. [3]}$$

Em que:

- y_{ijkn} é o valor observado do tratamento i no bloco j, na avaliação k dentro do local n;
- μ é a média geral;
- t_i é o efeito do tratamento i, no qual é decomposto em m_i que é o efeito fixo das testemunhas clonais i ($i = 1$ a 3) e p_i que é o efeito aleatório das progênes i, sendo que $p \sim N(0, \sigma_p^2)$, σ_p^2 é a variância genética entre as progênes;
- b_{jkn} é o efeito fixo do bloco j ($j = 1, 2, 3$ e 4), na avaliação k dentro do local n;
- l_n é o efeito fixo do local n;
- a_k é o efeito fixo da avaliação k;
- tl_{in} é o efeito aleatório da interação progênes x local;
- ta_{ik} é o efeito aleatório da interação progênes x avaliação;
- tla_{ikn} é o efeito aleatório da interação progênes x local x avaliação;
- e_{ij} é o efeito aleatório do erro ou resíduo associado ao tratamento i no bloco j, na avaliação k, no local n, sendo $e \sim N(0, \sigma_e^2)$, σ_e^2 é a variância residual.

2.4 CORREÇÕES RELATIVAS AO SISTEMA MISTO DE REPRODUÇÃO

A variância genética aditiva (σ_a^2) é comumente estimada em programas de melhoramento florestal por meio da seguinte expressão dada na Equação (4), correspondente às espécies perfeitamente alógamas (coeficiente de endogamia igual a zero e o coeficiente de parentesco igual a 1/8 ou 0,125 para meios-irmãos perfeitos):

$$\sigma_a^2 = \frac{\sigma_p^2}{2 \cdot \frac{1}{8}} \rightarrow \sigma_a^2 = 4\sigma_p^2 \rightarrow \sigma_p^2 = \frac{1}{4} \sigma_a^2 \quad \text{Eq. [4]}$$

A correção da variância genética aditiva (σ_a^2) foi realizada ao assumir que as progênies de polinização aberta podem ser compostas por misturas de indivíduos com diferentes graus de parentescos segundo Squillace (1974), Namkoog (1979), e Ritland (1989). Assim, a variância genética aditiva (σ_a^2) corrigida foi obtida pela seguinte Equação (5):

$$\sigma_a^2 = \frac{\sigma_p^2}{\hat{\rho}} \quad \text{Eq. [5]}$$

Onde $\hat{\rho}$ é o coeficiente de parentesco entre plantas dentro de progênies de polinização aberta, dado na Equação (6), estimado com base em Ritland (1989):

$$\hat{\rho} = 0,25 (1 + \hat{F}_p) \times [4\hat{s} + (\hat{t}^2 + \hat{t}\hat{s}\hat{r}_s)(1 + \hat{r}_p)] \quad \text{Eq. [6]}$$

Em que:

- \hat{F}_p é o coeficiente de endogamia dos pais;
- \hat{s} é a taxa de autofecundação;
- \hat{t} é a taxa de cruzamento;
- \hat{r}_s é a correlação de autofecundação;
- \hat{r}_p é a correlação de paternidade (RITLAND, 1989).

Todos os parâmetros foram inferidos por meio do estudo de populações remanescentes de polinização aberta de *E. benthamii* (BUTCHER; SKINNER; GARDINER, 2005). Nesse estudo, a taxa de cruzamento entre populações (\hat{t}) variou de 0,45 a 0,70 com média de 0,62. A correlação de autofecundação (\hat{r}_s) variou de 0,13 a 0,37 com média de 0,23. As estimativas da correlação de paternidade (\hat{r}_p) variaram de 0,28 a 0,47 apresentando média de 0,33. A partir do valor da taxa de cruzamento (\hat{t}), é possível obter a taxa de autofecundação (\hat{s}), na qual, resultou em 0,38. Assumiu-se que o coeficiente de endogamia dos pais (\hat{F}_p) foi igual a zero. Desta maneira, com base nos dados da literatura, assumiu-se que o coeficiente de parentesco entre plantas dentro das progênies de polinização aberta de *E. benthamii* do presente trabalho foi igual a 0,53 ou a proporção de 1/1,9.

2.5 ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS E COMPONENTES DE VARIÂNCIA

Os componentes de variância estimados foram: σ_p^2 = variância genética entre as progênes; σ_a^2 = variância genética aditiva; σ_e^2 = variância residual (ambiental + não aditiva); $\sigma_{g \times e}^2$ = variância da interação genótipo x ambiente; $\sigma_{g \times a}^2$ = variância da interação genótipo x avaliação; $\sigma_{g \times e \times a}^2$ = variância da interação genótipo x ambiente x avaliação; σ_f^2 = variância fenotípica; h_a^2 = herdabilidade individual no sentido restrito, ou seja, dos efeitos aditivos; h_{mp}^2 = herdabilidade da média das progênes; $c_{g \times e}^2$ = coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipo x ambiente; $c_{g \times a}^2$ = coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipo x avaliação; $c_{g \times e \times a}^2$ = coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipo x ambiente x avaliação; r_{gloc} = correlação genética entre o desempenho nos vários ambientes; r_{aa} = acurácia da seleção de progênes; $CV_{gi}(\%)$ = coeficiente de variação genética aditiva individual; $CV_{gp}(\%)$ = coeficiente de variação genotípica entre progênes; $CV_e(\%)$ = coeficiente de variação residual.

A partir da obtenção dos componentes de variância e da correção da variância genética aditiva, as herdabilidades foram estimadas para a característica de severidade da mancha foliar ao nível individual (neste trabalho, foram utilizadas as médias das progênes nas parcelas) dentro de um local (h_a^2), dada na Equação (7), e de todos os locais (h_{ads}^2) juntos, dada na Equação (8), sendo estimadas para sistema de reprodução misto e meios-irmãos, de acordo com as seguintes expressões, adaptado de Namkoong (1979):

$$h_a^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_p^2 + \sigma_e^2} \quad \text{Eq. [7]}$$

$$h_{ads}^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_p^2 + \sigma_{g \times e}^2 + \sigma_{g \times a}^2 + \sigma_{g \times e \times a}^2 + \sigma_e^2} \quad \text{Eq. [8]}$$

O coeficiente de herdabilidade da média das progênes dentro de um local (h_{mp}^2) e de todos os locais juntos (h_{mps}^2) foi calculado, respectivamente, pelas Equações (9) e (10):

$$h_{mp}^2 = \frac{\sigma_p^2}{\sigma_p^2 + \frac{\sigma_e^2}{b}} \quad \text{Eq. [9]}$$

$$h_{mps}^2 = \frac{\sigma_p^2}{\sigma_p^2 + \frac{\sigma_{g \times e}^2}{s} + \frac{\sigma_{es}^2}{sb}} \quad \text{Eq. [10]}$$

Em que:

- s é o número de locais avaliados;
- b é o o número de blocos.

As estimativas de herdabilidade obtidas foram classificadas de acordo com o que recomenda Resende (2015) (TABELA 2.3).

TABELA 2.3 – CLASSIFICAÇÃO DOS VALORES DE HERDABILIDADE

Valor da herdabilidade	Classificação
$h > 0,50$	Alta
$0,15 < h \leq 0,50$	Moderada
$h \leq 0,15$	Baixa

FONTE: RESENDE (2015).

Os coeficientes de determinação foram estimados conforme descrição de Resende (2007), como mostrado nas Equações (11), (12) e (13) a seguir:

$$c_{g \times e}^2 = \frac{\sigma_{g \times e}^2}{\sigma_p^2 + \sigma_{g \times e}^2 + \sigma_{g \times a}^2 + \sigma_{g \times e \times a}^2 + \sigma_e^2} \quad \text{Eq. [11]}$$

$$c_{g \times a}^2 = \frac{\sigma_{g \times a}^2}{\sigma_p^2 + \sigma_{g \times e}^2 + \sigma_{g \times a}^2 + \sigma_{g \times e \times a}^2 + \sigma_e^2} \quad \text{Eq. [12]}$$

$$c_{g \times e \times a}^2 = \frac{\sigma_{g \times e \times a}^2}{\sigma_p^2 + \sigma_{g \times e}^2 + \sigma_{g \times a}^2 + \sigma_{g \times e \times a}^2 + \sigma_e^2} \quad \text{Eq. [13]}$$

A acurácia da seleção de progênies (r_{aa}) e a correlação genética entre locais (r_{gloc}) foram estimadas, respectivamente, nas Equações (14) e (15):

$$r_{aa} = \sqrt{h_{mp}^2} \quad \text{Eq. [14]}$$

$$r_{gloc} = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a^2 + \sigma_{g \times e}^2} \quad \text{Eq. [15]}$$

Os valores de acurácia considerados altos de acordo com Resende (2007) são os maiores que 0,70. Esse valor indica a semelhança entre os valores genéticos estimados e os valores verdadeiros.

Os coeficientes de variação foram estimados pelas seguintes expressões dadas nas Equações (16), (17) e (18):

$$\widehat{CV}_{gi} = 100 \sqrt{\sigma_a^2 / \bar{x}} \quad \text{Eq. [16]}$$

$$\widehat{CV}_{gp} = 100 \sqrt{\sigma_p^2 / \bar{x}} \quad \text{Eq. [17]}$$

$$\widehat{CV}_e = 100 \sqrt{\sigma_e^2 / \bar{x}} \quad \text{Eq. [18]}$$

Em que:

- \bar{x} é a média geral.

O ganho de seleção esperado com a seleção foi estimado para sistemas misto de reprodução (SM) e meios-irmãos (MI) de acordo com a seguinte Equação (19) e na Equação (20) está o cálculo da superestimativa do ganho ao considerar o SM.

$$GS = h_a^2 * i * \sigma_f \quad \text{Eq. [19]}$$

$$\text{Superestimativa do ganho} = \frac{GS\%(MI) - GS\%(SM)}{GS\%(SM)} * 100 \quad \text{Eq. [20]}$$

Em que:

- h_a^2 é a herdabilidade aditiva calculada para sistema misto de reprodução e meios-irmãos;
- i é a intensidade de seleção, na qual, foi utilizado o valor tabelado de 1,40 para 20% de seleção;
- σ_f é o desvio-padrão fenotípico.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ANÁLISES INDIVIDUAIS

Foram encontradas diferenças estatisticamente significativas nas famílias (σ_p^2) para o caráter severidade da CLB (TABELA 2.4), o que indica a existência de variabilidade genética entre as famílias estudadas, tornando viável a seleção e o melhoramento para a resistência à doença (NAMKOONG, 1966; ZIMBACK et al., 2011), exceto para a idade de 10 meses em Mafra.

TABELA 2.4 – TESTE DA RAZÃO DA MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA (LRT) PARA O CARÁTER SEVERIDADE DA CLB EM PROGÊNIES DE *Eucalyptus benthamii* AOS 10, 16 e 27 MESES DE IDADE NOS MUNICÍPIOS DE SÃO MATEUS DO SUL – PR, MAFRA E PORTO UNIÃO – SC, BRASIL

Deviance ^b	Característica ^a						
	São Mateus do Sul		Mafra			Porto União	
	CLB ₁₆	CLB ₂₇	CLB ₁₀	CLB ₁₆	CLB ₂₇	CLB ₁₆	CLB ₂₇
LRT	3,13*	5,75**	0,69 ^{ns}	13,36***	35,16***	12,39***	13,85***

FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: ^aCLB₁₀: mancha-de-calonectria aos 10 meses de idade; CLB₁₆: mancha-de-calonectria aos 16 meses de idade; CLB₂₇: mancha-de-calonectria aos 27 meses de idade. ^bns: não significativo; *: significativo a 95% de probabilidade de erro; ***: significativo a 99% de probabilidade de erro.

Os resultados referentes aos componentes de variância e parâmetros genéticos para o caráter estudado nas análises individuais dos locais estão apresentados na Tabela 2.5.

TABELA 2.5 – COMPONENTES DE VARIÂNCIAS E ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS DA ANÁLISE INDIVIDUAL DOS LOCAIS E AVALIAÇÕES REALIZADAS PARA O CARÁTER SEVERIDADE DA CLB DAS PROGÊNIES DE *Eucalyptus benthamii*.

(continua)

Parâmetros Genéticos	Característica						
	São Mateus do Sul		Mafra			Porto União	
	CLB ₁₆	CLB ₂₇	CLB ₁₀	CLB ₁₆	CLB ₂₇	CLB ₁₆	CLB ₂₇
σ_p^2	0,0032	0,0042	0,0024	0,0173	0,0266	0,0273	0,0196
σ_f^2	0,0402	0,0377	0,0606	0,0898	0,0855	0,1639	0,1113
σ_e^2	0,0369	0,0335	0,0582	0,0726	0,0589	0,1366	0,0917

TABELA 2.5 – COMPONENTES DE VARIÂNCIAS E ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS DA ANÁLISE INDIVIDUAL DOS LOCAIS E AVALIAÇÕES REALIZADAS PARA O CARÁTER SEVERIDADE DA CLB DAS PROGÊNIES DE *Eucalyptus benthamii*

(conclusão)

Parâmetros Genéticos	Característica						
	São Mateus do Sul		Mafra			Porto União	
	CLB ₁₆	CLB ₂₇	CLB ₁₀	CLB ₁₆	CLB ₂₇	CLB ₁₆	CLB ₂₇
h^2_a (SM)	0,1535	0,2109	0,0741	0,3654	0,5921	0,3162	0,3354
h^2_a (MI)	0,3228	0,4437	0,1559	0,7686	1,2454	0,6651	0,7055
h^2_{mp}	0,2599	0,3329	0,1396	0,4875	0,6439	0,4438	0,4614
r_{aa}	0,51	0,58	0,37	0,70	0,80	0,66	0,68
$CV_{gi}\%$	3,71	2,44	1,77	7,95	7,21	9,39	5,75
$CV_{gp}\%$	2,69	1,77	1,29	5,76	5,23	6,80	4,17
$CV_e\%$	9,08	5,02	6,39	11,82	7,78	15,24	9,00
Média esperada	2,03	3,52	3,69	2,11	2,84	2,26	3,21
Média geral	2,12	3,65	3,78	2,28	3,12	2,42	3,36

FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: σ_p^2 = variância genética entre as progênies; σ_e^2 = variância residual (ambiental + não aditiva); σ_f^2 = variância fenotípica; h_a^2 = herdabilidade individual no sentido restrito, ou seja, dos efeitos aditivos; h_{mp}^2 = herdabilidade da média das progênies; r_{aa} = acurácia da seleção de progênies; $CV_{gi}(\%)$ = Coeficiente de variação genética aditiva individual; $CV_{gp}(\%)$ = Coeficiente de variação genotípica entre progênies; $CV_e(\%)$ = Coeficiente de variação residual; SM = progênies consideradas de sistema misto de reprodução; MI = progênies consideradas meias-irmãs (sistema reprodutivo alógamo).

Os valores de $CV_{gi}\%$ obtidos são considerados de baixa magnitude em São Mateus do Sul nas duas avaliações (3,71 e 2,44%), aos 10 meses em Mafra (1,77%) e aos 27 meses em Porto União (5,75%). Valores acima de 7% são considerados altos (SEBBENN et al., 1998). Logo, foram constatados valores de alta magnitude aos 16 e 27 meses em Mafra (7,95 e 7,21%) e aos 16 meses em Porto União (9,39%). As estimativas do coeficiente de variação genética aditiva expressam a variação genética que é transmitida de geração em geração (SEBBENN; BÔAS; MAX, 2008). Os resultados obtidos para $CV_{gi}\%$ indicam potencial para ganhos com a seleção em Mafra e Porto União. O $CV_e\%$ variou de 5,02% (São Mateus do Sul – 27 meses) a 15,24% (Porto União – 16 meses), o que indica boas condições experimentais (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002).

De maneira geral, os valores genéticos preditos não são iguais aos valores genéticos verdadeiros dos indivíduos. A proximidade entre esses dois valores pode ser avaliada com base na acurácia (VAN VLECK; POLLAK; OLTENACU, 1987). Quanto maior a acurácia na avaliação de um indivíduo, maior é a confiança na

avaliação e no valor genético predito desse indivíduo. Valores altos de acurácia na seleção de progênies ($>0,70$) foram encontrados apenas em Mafra, nas avaliações feitas aos 16 (0,70) e 27 meses (0,80). Os valores de acurácia em São Mateus do Sul (0,51 e 0,58) e Porto União (0,66 e 0,68) foram maiores que 0,50, sendo considerados valores de moderada acurácia, segundo Resende e Duarte (2007). Rezende (2018) encontrou valores de acurácia que variaram de 0,15 a 0,77 para a seleção de progênies de *E. grandis* resistentes à mancha foliar.

Valor de alta magnitude de h^2_{mp} foi constatado em Mafra, na avaliação realizada aos 27 meses (0,64). Valores altos são indicados para a seleção de materiais genéticos de interesse. As herdabilidades de médias magnitudes observadas nas avaliações em São Mateus (0,26 e 0,33), Porto União (0,44 e 0,46) e na avaliação aos 16 meses em Mafra (0,49) sugerem grandes possibilidades de ganho genético moderado associado à seleção nesses locais, tendo em vista que o progresso esperado por meio da seleção depende da herdabilidade do caráter. Miranda et al. (2013) encontraram valores de h^2_{mp} que variaram de 0,30 a 0,86 na seleção para resistência à ferrugem causada por *Puccinia psidii* Winter em *E. grandis*. Maior variação nos valores de h^2_{mp} foi encontrada por Rezende (2018) ao avaliar a resistência à mancha foliar de *Calonectria* (= *Cylindrocladium*) em *E. grandis*, encontrando herdabilidades de 0,02 a 0,60 em quatro avaliações.

TABELA 2.6 – ESTIMATIVAS DA HERDABILIDADE INDIVIDUAL NO SENTIDO RESTRITO (h^2_a) E DO GANHO GENÉTICO CONSIDERANDO PROGÊNIES DE SISTEMA REPRODUTIVO MISTO (SM) E MEIAS-IRMÃS (MI) PARA O CARÁTER SEVERIDADE DA CLB EM PROGÊNIES DE *Eucalyptus benthamii* NAS IDADES DE 10, 16 E 27 MESES, NOS LOCAIS AVALIADOS

Parâmetros genéticos	Característica						
	São Mateus do Sul		CLB ₁₀	Mafra		Porto União	
	CLB ₁₆	CLB ₂₇		CLB ₁₆	CLB ₂₇	CLB ₁₆	CLB ₂₇
h^2_a (SM)	0,15	0,21	0,07	0,37	0,59	0,32	0,34
h^2_a (MI)	0,32	0,44	0,16	0,77	1,25	0,67	0,71
GS% (SM)	2,12	1,63	0,69	7,27	8,53	7,93	4,88
GS% (MI)	4,46	3,43	1,45	15,29	17,95	16,68	10,26
Superestimativa do GS (%)	110,38	110,43	110,14	110,31	110,43	110,34	110,25

FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: h^2_a = herdabilidade individual no sentido restrito, ou seja, dos efeitos aditivos; GS = Ganho de seleção.

Os valores encontrados nas estimativas de herdabilidade do sentido restrito (h_a^2) (TABELAS 2.5 e 2.6) para SM variaram de 0,07 (Mafra aos 10 meses) a 0,59 (Mafra aos 27 meses), e para MI, variaram de 0,16 (Mafra aos 10 meses) a 1,25 (Mafra aos 27 meses). As estimativas de herdabilidade são ferramentas de suma importância nos trabalhos de melhoramento, pois expressam a quantidade da variabilidade genética disponível numa população, proporcionando o conhecimento da magnitude relativa das variações genéticas e ambientais (WRIGHT, 1976). Por ser uma relação entre σ_a^2 e σ_f^2 , se σ_a^2 estiver superestimada, h_a^2 será maior que a verdadeira, como pode-se observar nos valores encontrados ao assumir as progênies como meias-irmãs. Considerar a espécie como de sistema reprodutivo misto ou predominantemente alógama, afeta diretamente os valores do coeficiente de herdabilidade e dos ganhos genéticos com a seleção, tornando-os maiores que os verdadeiros, o que pode ser comprovado em trabalhos de Costa (1999), Zanata et al. (2010), Miranda (2016) e Tambarussi et al. (2018).

Os resultados também demonstraram que a expressão da variação genética para resistência à mancha foliar é diferente entre os locais, enfatizando a importância do estabelecimento de testes de progênies em diferentes locais para pesquisa de melhoramento florestal (MIRANDA et al., 2013). Isso também indica diferenças em comportamento patogênico das populações de *Calonectria* spp. em diferentes áreas.

Houve aumento dos valores de h_a^2 à medida que avançaram os períodos de avaliações, podendo ser considerado de alta magnitude o correspondente a avaliação feita aos 27 meses de idade em Mafra (0,59) e, de média magnitude, para Porto União (0,32 e 0,34), São Mateus do Sul (0,15 e 0,21) e na segunda avaliação de Mafra (0,37), assumindo as progênies como de sistema misto. Segundo Borges et al. (1980) e Kalil Filho et al. (1982), quando há tendência crescente dos valores de herdabilidade com o aumento da idade das árvores, esse fato pode ser explicado pela maior influência do ambiente sobre as características juvenis. À medida que as árvores se tornam adultas, o genótipo passa a desempenhar maior importância na expressão do fenótipo que o ambiente.

Bertoncini et al. (2017) encontraram estimativas de herdabilidade individual de altas (acima de 0,95) para progênies de *E. grandis*, ao analisar a resistência à ferrugem. Milgate et al. (2005) obtiveram estimativa de herdabilidade para a severidade de *M. nubilosa* em *E. globulus* de 0,60, semelhante a herdabilidade

encontrada na terceira avaliação em Mafra. Valores como aos encontrados podem ser favoráveis na escolha de indivíduos superiores (maior resistência à mancha foliar), pois quanto maior a herdabilidade de um dado caráter, maior é o seu controle genético (FALCONER; MACKAY, 1996).

Algumas razões podem explicar a boa expressividade da herdabilidade. A ausência de variação na incidência da doença mostrou que quase todas as árvores do estudo foram expostas a infecções e, portanto, a possibilidade de plantas suscetíveis terem escapado da infecção foi baixa (MILGATE et al., 2005). Acredita-se que esse "escape" é, muitas vezes, a causa da baixa hereditariedade de algumas características de pragas. Outra razão para a boa expressividade da herdabilidade seria a elevada gravidade da doença, que pode ter sido ideal para a expressão de diferenças genéticas.

A importância de considerar o sistema reprodutivo misto para obter estimativas genéticas e prever os ganhos genéticos com a seleção das melhores famílias ficou evidenciado pelos resultados que foram observados nesta pesquisa. As estimativas das herdabilidades no sentido restrito e dos ganhos genéticos com a seleção para os locais em cada avaliação tiveram superestimativas de mais de 100% ao comparar sistema misto com meios-irmãos (TABELA 2.6).

Desta forma, fica evidente que, quando se negligencia o possível parentesco entre progênies, desconsiderando a endogamia, há uma superestimativa em nível de plantas, afetando diretamente as estimativas da herdabilidade e dos ganhos genéticos (VENCOVSKY et al., 2001; TAMBARUSSI et al., 2018).

3.2 ANÁLISES CONJUNTAS ENVOLVENDO TODOS OS LOCAIS

Os componentes de variância e estimativas dos parâmetros genéticos para a análise conjunta, envolvendo as progênies e os locais para a avaliação realizada aos 16 e 27 meses, para o caráter severidade da mancha foliar, estão na Tabela 2.7.

TABELA 2.7 – COMPONENTES DE VARIÂNCIAS E ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS DA ANÁLISE CONJUNTA DE TODOS OS LOCAIS E AVALIAÇÕES REALIZADAS AOS 16 E 27 MESES DE IDADE PARA O CARÁTER SEVERIDADE DA CLB DAS PROGÊNIES DE *Eucalyptus benthamii*

Resistência à mancha foliar		
Parâmetros Genéticos	16 meses	27 meses
σ_p^2	$0,158 \times 10^{-7}$	0,0054
σ_f^2	0,0988	0,0870
σ_e^2	0,0775	0,0662
$\sigma_{g \times e}^2$	0,0212	0,0153
h_a^2	$0,3 \times 10^{-6}$	0,1179
h_{mp}^2	$0,57 \times 10^{-6}$	0,2841
$c_{g \times e}^2$	0,2146	0,0928
r_{gloc}	$1,41 \times 10^{-6}$	0,4006
r_{aa}	0,00075	0,5330
Média esperada	2,02	2,14
Média geral	2,75	3,11

LEGENDA: σ_p^2 = variância genética entre as progênies; σ_e^2 = variância residual (ambiental + não aditiva); σ_f^2 = variância fenotípica; $\sigma_{g \times e}^2$ = variância da interação genótipo x ambiente; h_a^2 = herdabilidade individual no sentido restrito, ou seja, dos efeitos aditivos; h_{mp}^2 = herdabilidade da média das progênies; $c_{g \times e}^2$ = coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipo x ambiente; r_{gloc} = correlação genética entre o desempenho nos vários ambientes; r_{aa} = acurácia da seleção de progênies.

A análise conjunta, envolvendo os genótipos com todos os locais e todas as avaliações, está apresentada na Tabela 2.8. De modo geral, os resultados mostraram que há baixa variabilidade genética e menor nível de controle genético da característica resistência à mancha foliar entre as progênies para ambas as análises conjuntas (TABELAS 2.7 e 2.8).

TABELA 2.8 – COMPONENTES DE VARIÂNCIAS E ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS DA ANÁLISE CONJUNTA DE TODOS OS LOCAIS E AVALIAÇÕES REALIZADAS PARA O CARÁTER SEVERIDADE DA CLB DAS PROGÊNIES DE *Eucalyptus benthamii*

(continua)

Resistência à mancha foliar	
Parâmetros Genéticos	Todos os locais e avaliações
σ_p^2	0,0044
σ_f^2	0,0849
σ_e^2	0,0708
$\sigma_{g \times e}^2$	0,0031
$\sigma_{g \times a}^2$	$3,26 \times 10^{-8}$
$\sigma_{g \times e \times a}^2$	0,0066
h_a^2	0,0973

TABELA 2.8 – COMPONENTES DE VARIÂNCIAS E ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS DA ANÁLISE CONJUNTA DE TODOS OS LOCAIS E AVALIAÇÕES REALIZADAS PARA O CARÁTER SEVERIDADE DA CLB DAS PROGÊNIES DE *Eucalyptus benthamii*

(conclusão)

Resistência à mancha foliar	
Parâmetros Genéticos	Todos os locais e avaliações
h_{mp}^2	0,3902
$c_{g \times e}^2$	0,0363
$c_{g \times a}^2$	$3,84 \times 10^{-7}$
$c_{g \times e \times a}^2$	0,0775
r_{gloc}	0,59
r_{aa}	0,62
Média esperada	2,93
Média geral	2,95

LEGENDA: σ_p^2 = variância genética entre as progênies; σ_e^2 = variância residual (ambiental + não aditiva); σ_f^2 = variância fenotípica; $\sigma_{g \times e}^2$ = variância da interação genótipo x ambiente; $\sigma_{g \times a}^2$ = variância da interação genótipo x avaliação; $\sigma_{g \times e \times a}^2$ = variância da interação genótipo x ambiente x avaliação; h_a^2 = herdabilidade individual no sentido restrito, ou seja, dos efeitos aditivos; h_{mp}^2 = herdabilidade da média das progênies; $c_{g \times e}^2$ = coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipo x ambiente; $c_{g \times a}^2$ = coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipo x avaliação; $c_{g \times e \times a}^2$ = coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipo x ambiente x avaliação; r_{gloc} = correlação genética entre o desempenho nos vários ambientes; r_{aa} = acurácia da seleção de progênies.

A correlação genética das progênies de *E. benthamii* plantadas nos três locais foi de 0,0 aos 16 meses e 0,40 aos 27 meses de idade (TABELA 2.7), e considerados baixos. De acordo com Resende (2007), valores de correlação maiores de 0,67 entre diferentes locais, demonstram potencial para a utilização de uma única zona de melhoramento. De maneira geral, constata-se tendência de menor variabilidade no desempenho dos genótipos da análise correspondente aos 16 meses de idade quando comparada àquela realizada aos 27 meses de idade.

O coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipo x ambiente foram, respectivamente, 0,21 e 0,09, ou seja, 21% e 9% (TABELA 2.7). Esses valores referem-se à proporção da variabilidade fenotípica total explicada pela interação. O valor estimado para acurácia revela que existe baixa correlação entre os valores genéticos preditos e os valores genéticos verdadeiros na avaliação aos 16 meses (0,00) e moderada acurácia foi constatada na avaliação feita aos 27 meses (0,53), indicando certa confiança nessa última avaliação e no valor genético predito, comparada à primeira.

Ao avaliar conjuntamente todos os locais e avaliações realizadas (TABELA 2.8), a correlação genética das progênes foi de 0,59, abaixo do valor recomendado de 0,67, para a formação de uma única zona de melhoramento para os três locais (RESENDE, 2007), o que indica que a seleção por local realmente é a mais recomendada.

O coeficiente de determinação dos efeitos da interação genótipos x ambientes ($c_{g \times e}^2$), genótipos x avaliações ($c_{g \times a}^2$) e genótipos x ambientes x avaliações ($c_{g \times e \times a}^2$) foram, respectivamente, 0,036; 0,000 e 0,078, ou seja, 3,6%; 0% e 7,8% (TABELA 2.8). Esses valores referem-se à proporção da variabilidade fenotípica total explicada pela interação. Portanto, a interação tripla $c_{g \times e \times a}^2$ influenciou mais a variância fenotípica que as interações $c_{g \times e}^2$ e $c_{g \times a}^2$.

A correlação genética entre progênes e os baixos valores de herdabilidade estimados nas análises conjuntas, para a população de *E. benthamii* avaliada, revelam baixo controle genético e baixa expectativa para uma estratégia de seleção via análise conjunta entre locais e formação de uma única zona de melhoramento. O mais indicado é o desenvolvimento de uma estratégia de melhoramento envolvendo seleções individuais para cada local, aproveitando os efeitos da interação do genótipo com o ambiente, conforme recomenda Namkoong et al. (1980).

3.3 SELEÇÃO GENÉTICA

Os ordenamentos das médias BLUP's das progênes estão apresentados nos Apêndices 4, 5 e 6. Os valores de herdabilidade e acurácia obtidos na análise individual indicam que é possível fazer seleção entre famílias por local, com possibilidades de bons ganhos genéticos. Para as análises conjuntas, as estimativas de herdabilidade foram baixas e não indicam nível significativo de variação genética aditiva para resistência à mancha foliar dentro das populações.

Ao adotar programas de melhoramento individuais para cada um dos três locais, a herdabilidade individual no sentido restrito para o caráter severidade da mancha será bem maior comparada às estimativas das análises conjuntas. No caso da adoção de um único programa de melhoramento, incluindo o material genético dos três locais, o valor da herdabilidade diminuiria para 9,73% (TABELA 2.8). Essa

redução dos valores da herdabilidade pode ser devido aos efeitos da interação genótipo x ambiente, evidenciando o efeito do ambiente sobre a característica.

Fonseca et al. (2010) citam que em uma primeira etapa de um programa de melhoramento genético, como o deste trabalho, a seleção precoce tem sido eficiente para características silviculturais em teste de progênes de famílias de meios-irmãos. Ainda de acordo com esses mesmos autores, a idade de dois anos pode ser considerada segura para a seleção precoce, devido ao fato de a incidência da ferrugem, manchas foliares, cancro e outros possíveis fatores de estresse para as árvores acontecer neste período.

Em relação às diferentes idades de avaliação da mancha foliar, a segunda avaliação aos 27 meses é a mais indicada para ser usada no processo de seleção, uma vez que nessa avaliação foi verificado melhor controle genético dessa variável, devido ao seu maior valor de herdabilidade nas análises individuais dos locais, permitindo, assim, um tempo menor de avaliação para fazer a seleção, garantindo a seleção precoce.

As estimativas dos ganhos genéticos foram realizadas tendo como base a intensidade de seleção de 20%, correspondendo a 17 famílias para a população selecionada. Nos Apêndices 4, 5 e 6, observa-se que as testemunhas clonais ficaram nas primeiras posições no ordenamento dos tratamentos mais resistentes à mancha foliar, isso indica o melhor desempenho das testemunhas comparado às progênes.

Ainda, constata-se que as progênes que apresentaram o melhor desempenho em um local, não necessariamente foram as melhores nos demais. É importante mencionar que, apesar dos três locais apresentarem latitudes, longitudes, altitudes e precipitações próximas, o desempenho dos genótipos foi variável. Isso sugere que outros fatores como fertilidade, estrutura e tipo de solo podem estar interferindo no desempenho (PINHEIRO et al., 1980).

4 CONCLUSÕES

Os testes de progênies instalados nos diferentes locais exibiram moderada variabilidade nas análises individuais, com potencial para se tornarem uma população base de melhoramento.

A comparação das estimativas genéticas entre os diferentes sistemas reprodutivos demonstrou que houve superestimativas nas variâncias aditivas, herdabilidades, ganhos genéticos, podendo levar a erros significativos na seleção de árvores e, ou famílias superiores.

A seleção deve ser realizada para cada local, com base nas análises individuais. Em relação às diferentes idades de avaliação da mancha foliar, a segunda avaliação aos 27 meses foi a mais indicada para ser usada no processo de seleção, uma vez que nessa avaliação foi verificado melhor controle genético dessa variável, devido ao seu maior valor de herdabilidade nas análises individuais dos locais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Não restam dúvidas de que os agentes patogênicos estão preparados para desafiar a silvicultura de plantios de eucalipto em todo o mundo. Para sustentar negócios lucrativos com base na eucaliptocultura, as empresas florestais precisarão estar atentas para contornar esse problema.

Pesquisas como esta são de grande relevância ao setor florestal para a tomada de decisões no que tange às realizações de melhoristas e fitopatologistas. Novos trabalhos podem ser realizados a fim de avaliar o efeito da doença sobre a produtividade de *Eucalyptus benthamii* e averiguar as perdas econômicas provocadas por *Calonectria metrosideri* e *Calonectria spathulata*, conhecendo o potencial de cada espécie do patógeno.

REFERÊNCIAS

ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. **Clonagem e doenças do eucalipto**. 2ª edição. Editora UFV. 2009. 500 p.

BALMELLI, G.; SIMETO, S.; MARRONI, V.; ALTIER, N.; DIEZ, J. J. Genetic variation for resistance to *Mycosphaerella* leaf disease and *Eucalyptus* rust on *Eucalyptus globulus* in Uruguay. **Australasian Plant Pathology**, v. 43, p. 97-107, 2014.

BERTONCINI, G. H.; TAMBARUSSI, E. V.; SEBBENN, A. M.; MORAES, C. B.; GAMA, L.; FURTADO, E. L.; ZIMBACK, L.; MORI, E. S. Rust resistance and mating system in *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden progenies. **Scientia Forestalis**, v. 45, p. 1, 2017.

BORGES, R. C. G. et al. Estimativa de parâmetros genéticos em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 4, n. 2, p. 134-145, 1980.

BUTCHER, P. A.; SKINNER, A. K.; GARDINER, C. A. Increased inbreeding and inter-species gene flow in remnant populations of the rare *Eucalyptus benthamii*. **Conservation Genetics**, v. 6, n. 2, p. 213-226, 2005.

COSTA, R. B. **Métodos de seleção, interação genótipo x ambiente e ganho genético para o melhoramento da seringueira no estado de São Paulo**. 156 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

ELDRIDGE, K.; DAVIDSON, J.; HARWOOD, C.; VAN WYK, G. ***Eucalyptus* domestication and breeding**. Oxford University Press Inc., New York. 1993.

EMBRAPA – (Centro Nacional de Pesquisa de Florestas). **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado de Santa Catarina**. 113p. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 21). 1988.

FALCONER, D. D.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. London: Longman Malaysia, 1996. 463 p.

FERREIRA, F. A. **Patologia florestal. Principais doenças florestais no Brasil**. Viçosa, MG, Sociedade de Investigações Florestais, 1989. 570 p.

FONSECA, S. M.; RESENDE, M. D. V.; ALFENAS, A. C.; GUIMARÃES, L. M. S.; ASSIS, T. F.; GRATTAPAGLIA, D. **Manual prático de melhoramento genético do eucalipto**. Viçosa. Editora UFV, 2010. 200 p.

FUCHS, M. C. P.; TAMBARUSSI, E. V.; LURENÇÃO, J. C.; NOGUEIRA, L. M.; BORTOLOTO, T. M.; GONZALEZ, E. R.; ODA, S.; MARINO, C. L. Molecular marker associated with a deleterious recessive anomaly in *Eucalyptus grandis* seedlings. **Annals of Forest Science**, v. 72, n. 8, p.1043–1052, 2015.

GILMOUR, A. R.; GOGEL, B. J.; CULLIS, B. R.; THOMPSON, R. **ASReml User Guide Release 3.0**, VSN International Ltd, Hemel Hempstead. 2009.

KALIL FILHO, A. N.; PIRES, C. L. S.; GURFINKEL, J. **Estimação de parâmetros genéticos e observação do comportamento em *Eucalyptus saligna* Smith em Angatuba (SP)**. In: CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL, 15, 1982, São Paulo. Resumos. São Paulo, 1982.

KRUGNER, T. L.; GUERRINI, I. A.; AUER, C. G. Surto epidêmico da mancha foliar causada por *Cylindrocladium* spp. e sua relação com o crescimento de espécies/procedências de *Eucalyptus* na região de Tucuruí, PA. **IPEF**, Piracicaba, n. 43/44, p. 74-78, 1991.

LIMA, E. A. ***Eucalyptus benthamii* – Uma alternativa energética para áreas de ocorrência de geadas severas**. Painel Florestal. 2007.

MIRANDA, A. C.; MORAES, M. L. T.; TAMBARUSSI, E. V.; FURTADO, E. L.; MORI, E. S.; SILVA, P. H. M.; SEBBENN, A. M. Heritability for resistance to *Puccinia psidii* Winter rust in *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden in Southwestern Brazil, **Tree Genetics & Genomes**, v. 9, p. 321-329, 2013.

MIRANDA, A. C. **Caracterização e comparação da diversidade genética de populações de *Eucalyptus grandis* por meio de marcadores moleculares e características quantitativas**. 84 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal), UNESP, Botucatu, 2016.

NAMKOONG, G. Inbreeding effects on estimation of genetic additive variance. **For Sci**, v. 12, n. 1, p. 8-13, 1966.

NAMKOONG, G. **Introduction to quantitative genetics in forestry**. Washington, D. C.: Forest Service, 342 p. (Technical Bulletin, 1588). 1979.

NAMKOONG, G.; BARNES, R. D.; BURLEY, J. Screening for yield in forest tree breeding. *Commonwealth For. Rev.* v. 59 p. 61-68. 1980.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

PINHEIRO, E.; PINHEIRO, F. S. V.; ALVES, R. M. Comportamento de alguns clones de *Hevea* sp., em Açailândia, na região pré-amazônica maranhense. In: SEMINÁRIO NACIONAL DA SERINGUEIRA, 3., Manaus, **Anais**. 1980.

RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 561 p.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, p. 182-194, 2007.

RESENDE, M. D. V. **Genética quantitativa e de populações**. Viçosa- MG: Suprema. 2015. 463 p.

REZENDE, E. H. Melhoramento genético de *Eucalyptus grandis*, visando crescimento e a resistência ao cancro de *Crysoptorthe cubensis*/*Botryosphaeria* sp. e a mancha foliar de *Cylindrocladium* sp./*Kirramyces epicoccoides*. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). 2018. Tese: Doutorado em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, PR. 2018.

R CORE TEAM (R). **A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. 2018.

RITLAND, K. Correlated matings in the partial selfer *Mimulus guttatus*. **Evolution**, Lancaster, v. 43, n. 4, p. 848-859, 1989.

SEBBENN, A. M.; SIQUEIRA, A. C. M. F.; KAGEYAMA, P. Y.; MACHADO, J. A. R. Parâmetros genéticos na conservação da cabreúva – *Myroxylon peruiferum* L.F. Allemão. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 53, p. 31-38, 1998.

SEBBENN, A. M. Sistema de reprodução em espécies arbóreas tropicais e suas implicações para a seleção de árvores matrizes para reflorestamentos ambientais.

In: HIGA, A. R.; SILVA, L. **Pomares de sementes de espécies nativas**, Curitiba: FUPEF, p.193-198, 2006.

SEBBENN, A. M; BÔAS, O. V; MAX, J. C. M. Altas herdabilidades e ganhos na seleção para caracteres de crescimento em teste de progênies de polinização aberta de *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii*, aos 25 anos de idade em Assis-SP. **Revista do Instituto Florestal**, v. 20, n. 2, p. 95-102, 2008.

SCHULTZ, B. **Doenças bióticas e abióticas em *Eucalyptus benthamii* Maiden**. 2011. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

SCHULTZ, B.; SBRAVATTI JUNIOR, J. A.; AUER, C. G.; SANTOS, A. F. Impacto da mancha foliar causada por *Cylindrocladium candelabrum* em plantios jovens de *Eucalyptus benthamii* em Rio Negrinho – SC. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 2. p. 307-316, 2015.

SQUILLACE, A. E. Average genetic correlations among offspring from open-pollinated forest trees. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 23, n. 5, p. 149-156, 1974.

TAMBARUSSI, E. V.; PEREIRA, F. B.; SILVA, P. H. M.; LEE, D.; BUSH, D. Are tree breeders properly predicting genetic gain? A case study involving *Corymbia* species. **Euphytica**, v. 214, n. 150, 2018.

VAN VLECK, L. D.; POLLAK, E.J.; OLTENACU, E.A.B. **Genetical for the animal Sciences**. New York: W.H. Freeman, 1987. 391 p.

VENCOVSKY, R.; PEREIRA, M. B.; CRISÓSTOMO, J. R.; FERREIRA, M. A. J. Genética e melhoramento de populações mistas. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLIS, M. C. Recursos genéticos e melhoramento. Rondonópolis: **Fundação MT**, p. 231-281, 2001.

WRIGHT, S. Coefficients of inbreeding and relationship. **American Naturalist**, v. 56, p. 330–338, 1922.

WRIGHT, J. W. **Introduction to forest genetics**. New York: Academic Press, 1976. 464p

XAVIER, A. A.; VON SANFUENTES, E.; JUNGHANS, D. T.; ALFENAS, A. C. Resistência de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus nitens* à ferrugem (*Puccinia psidii*). **Revista árvore**, v.31, n. 4, p. 731-735, 2007.

ZANATA, M., FREITAS, M. L. M., SILVA, M. T., MORAIS, E., ZANATTO, A. C. S.; SEBBENN, A. M. Parâmetros genéticos e ganhos na seleção em teste de progênies de polinização aberta de *Eucalyptus pellita*, Batatais – SP. **Revista do Instituto Florestal**, v. 22 n. 2 p. 233-242. 2010.

ZHU, J. H.; GUO, W. S.; CHEN, H. M.; WU, J. Q.; CHEN, Q. Z.; MENG, X. M. Loss estimation of eucalyptus growth caused by of eucalyptus dieback. **For Pest Dis**, v. 30, n. 5, p. 6-10, 2011.

ZIMBACK, L.; MORI, E. S.; BRIZOLLA T. F.; CHAVES, R. Correlações entre caracteres silviculturais durante o crescimento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Rev Inst Flor**, v. 23, n. 1, p. 57–67, 2011.

REFERÊNCIAS GERAIS

ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype-environment interaction in applied plant breeding. **Crop Science**, v. 4, n. 5, p. 503-508, 1964.

ALFENAS, A.C. Fungos do gênero *Cylindrocladium* como patógenos florestais no Brasil. **Fitopatologia Brasileira**, v. 11, p. 275-277, 1986.

ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. **Clonagem e doenças do eucalipto**. 2ª edição. Editora UFV. 2009. 500 p.

ALFENAS, A. C.; FERREIRA, F. A. Inoculação de fungos fitopatogênicos. In: ALFENAS, A. C.; MAFIA, R. G. (Ed.). **Métodos em Fitopatologia**. Viçosa: UFV, 2007. p. 117-137

ALFENAS, R. F.; PEREIRA, O. L.; FERREIRA, M. A.; JORGE, V. L.; CROUS, P. W.; ALFENAS, A. C. *Calonectria metrosideri*, a highly aggressive pathogen causing leaf blight, root rot, and wilt of *Metrosideros* spp. in Brazil. **Forest Pathology**, v.43, 2013.

ALFENAS, R. F.; LOMBARD, L.; PEREIRA, O. L.; ALFENAS, A. C.; CROUS, P. W. Diversity and potential impact of *Calonectria* species in *Eucalyptus* plantations in Brazil. **Studies in Mycology**, v. 80, p. 89-130. 2015.

ANDRADE, H. B. **Avaliação de espécies e progênies de *Eucalyptus* L'Heritier (Myrtaceae) nas regiões norte e noroeste do Estado de Minas Gerais**. 105 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1991.

ASSIS, T. F.; ABAD, J. I. M.; AGUIAR, A. M. Melhoramento Genético do Eucalipto. In: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. (Eds.). **Silvicultura do eucalipto no Brasil**. 1 ed. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2016. p. 306.

BALMELLI, G.; SIMETO, S.; MARRONI, V.; ALTIER, N.; DIEZ, J. J. Genetic variation for resistance to *Mycosphaerella* leaf disease and *Eucalyptus* rust on *Eucalyptus globulus* in Uruguay. **Australasian Plant Pathology**, v. 43, p. 97-107, 2014.

BARNETT, H. L.; HUNTER, B. B. **Illustrated genera of imperfect fungi**. 3. ed, Burgess Publishing Co., Minneapolis, 241 p. 1972.

BENSON, D. H. Aspects of the ecology of a rare tree species, *Eucalyptus benthamii*, at Bents Basin, Wallacia. **Cunninghamia**, Sydney, v. 1, n. 3, p. 371-383, 1985.

BERTOLUCCI, F. L. G.; REZENDE, G. D. S. P.; PENCHEL, R. Produção e utilização de híbridos de eucalipto. **Silvicultura**, São Paulo, v. 13, n. 51, p. 12-16, 1993.

BERTONCINI, G. H.; TAMBARUSSI, E. V.; SEBBENN, A. M.; MORAES, C. B.; GAMA, L.; FURTADO, E. L.; ZIMBACK, L.; MORI, E. S. Rust resistance and mating system in *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden progenies. **Scientia Forestalis**, v. 45, p. 1, 2017.

BLUM, L. E. B.; DIANESE, J. C.; COSTA C. L. Comparative pathology of *Cylindrocladium clavatum* and *C. scoparium* on *Eucalyptus* spp. and screening of *Eucalyptus* provenances for resistance to *Cylindrocladium* damping-off. **Tropical Pest Management**, v. 38, n. 2, p. 155-159, 1992.

BORÉM, A.; MIRANDA G. V. **Melhoramento de plantas**. Viçosa: Editora UFV, 6 ed., 2013. 523 p.

BORGES, R. C. G. et al. Estimativa de parâmetros genéticos em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 4, n. 2, p. 134-145, 1980.

BROOKER, M. I. H.; SLEE, A. V.; CONNORS, J. R. **Euclid**. Disponível em: <<https://www.anbg.gov.au/cpbr/cd-keys/Euclid/sample/html/learn.htm>>. Acesso em: ago. 2017.

BROWN, A. H. D. Genetic characterization of plant mating systems. In: BROWN, A. H. D., CLEGG, M. T.; KAHLER, A. L.; WEIR, B. S. (eds). **Plant Population Genetics** - Breeding and Genetic Resources. Sunderland, MA: Sinauer Associates. pp. 145-162. 1990.

BUENO, L. C. S.; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, S. P. **Melhoramento genético de plantas**: princípios e procedimentos. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 319 p.

BUTCHER, P. A.; SKINNER, A. K.; GARDINER, C. A. Increased inbreeding and inter-species gene flow in remnant populations of the rare *Eucalyptus benthamii*. **Conservation Genetics**, v. 6, n. 2, p. 213-226, 2005.

CARBONE, I.; KOHN, L. M. A method for designing primer sets for speciation studies in filamentous ascomycetes. **Mycologia**. v. 91, p. 553-556, 1999.

CHEN Q. Z.; GUO, W. S.; FENG L. Z.; SH, M. I. A. O.; LIN, J. S. Identification of *Calonectria* associated with *Eucalyptus* spp. cutting seedling leaf blight. **Journal of Fujian Agriculture and Forestry University**, v. 42, n. 3, p. 257-262, 2013a.

CHEN, Q. Z.; GUO, W. S.; YE, X. Z.; FENG, L. Z.; HUANG, X. P.; WU, Y. Z. Identification of *Calonectria* associated with *Eucalyptus* leaf blight in Fujian province. **Jornal do Fujian Forestry College**, v. 33, n. 2, p. 176-182, 2013b.

COSTA, R. B. **Métodos de seleção, interação genótipo x ambiente e ganho genético para o melhoramento da seringueira no estado de São Paulo**. 156 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

CROUS, P. W. **Taxonomy and Pathology of *Cylindrocladium* (*Calonectria*) and Allied Genera**. St Paul MN, USA. APS Press. 2002.

CROUS, P. W.; WINGFIELD, M. J. A monograph of *Cylindrocladium*, including anamorphs of *Calonectria*. **Mycotaxon**, vol. 51, p. 341-435. 1994.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 3.ed., 2004. 480 p.

DIANESE, J. C.; RIBEIRO, W. R. C.; URBEN A. F. Root rot of soybean caused by *Cylindrocladium clavatum* in central Brazil. **Plant Disease**, v. 70, n. 10, p. 977-980, 1986.

ELDRIDGE, K.; DAVIDSON, J.; HARWOOD, C.; VAN WYK, G. ***Eucalyptus* domestication and breeding**. Oxford University Press Inc., New York. 1993.

EL-GHOLL, N. E.; KIMBROUGH, J. W.; BARNARD, E. L.; ALFIERI, S. A.; SCHOULTIES, C. L. *Calonectria spathulata* sp. nov. **Mycotaxon**, v. 26, p. 151-164, 1986.

EMBRAPA – (Centro Nacional de Pesquisa de Florestas). **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado de Santa Catarina**. 113p. (EMBRAPA-CNPQ. Documentos, 21). 1988.

FALCONER, D. D.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics**. London: Longman Malaysia, 1996. 463 p.

FARRIS, J. D.; M. KALLERSJ, M.; KLUGE, A. G.; BULT, C. Testing significance of incongruence. **Cladistics** v. 10, p. 315–319, 1994.

FERREIRA, F. A. **Patologia florestal. Principais doenças florestais no Brasil**. Viçosa, MG, Sociedade de Investigações Florestais, 1989. 570 p.

FERREIRA, F. A.; ALFENAS, A. C.; MOREIRA, A. M.; DEMUNER, N. L. Mancha-de-pteridis: Doença foliar de eucalipto em áreas tropicais brasileiras. **Fitopatologia Brasileira**, v. 20, p. 107-110. 1995.

FERREIRA, M. A.; ALFENAS, A. C.; BINOTI, D. H. B.; MACHADO, P. S.; MOUNTEER, A. H. Slow sand filtration eradicates eucalypt clonal nursery plant pathogens from recycled irrigation water in Brazil. **Tropical Plant Pathology**, v. 37, n. 5, p. 319-325, 2012.

FERREIRA, M.; SANTOS, P.E.T. Melhoramento genético florestal dos eucaliptos no Brasil: breve histórico e perspectivas. In: **IUFRO. CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS**, Salvador, 1997. Proceedings. Colombo: Embrapa/CNPQ, 1997. v.1, p.14-34.

FONSECA, S. M.; RESENDE, M. D. V.; ALFENAS, A. C.; GUIMARÃES, L. M. S.; ASSIS, T. F.; GRATTAPAGLIA, D. **Manual prático de melhoramento genético do eucalipto**. Viçosa. Editora UFV, 2010. 200 p.

FUCHS, M. C. P.; TAMBARUSSI, E. V.; LURENÇÃO, J. C.; NOGUEIRA, L. M.; BORTOLOTO, T. M.; GONZALEZ, E. R.; ODA, S.; MARINO, C. L. Molecular marker associated with a deleterious recessive anomaly in *Eucalyptus grandis* seedlings. **Annals of Forest Science**, v. 72, n. 8, p.1043–1052, 2015.

GILMOUR, A. R.; GOGEL, B. J.; CULLIS, B. R.; THOMPSON, R. **ASReml User Guide Release 3.0**, VSN International Ltd, Hemel Hempstead. 2009.

GRAÇA, M. E. C.; SHIMIZU, J. Y.; TAVARES, F. R. Capacidade de rebrota e de enraizamento de *Eucalyptus benthamii*. In: **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 39, p. 135-138, 1999.

GRAÇA, R. N.; ALFENAS, A. C.; MAFFIA, L. A.; TITON, M.; ALFENAS, R. F.; LAU, D.; ROCABADO, J. M. A. Factors influencing infection of eucalypts by *Cylindrocladium pteridis*. **Plant Pathology**, v. 58. n. 5, p. 971-981, 2009.

GRIGOLETTI JR., A.; BIZI, R. M.; AUER, C. G. Metodologia para inoculação padronizada de *Botrytis cinerea* em *Eucalyptus dunnii*. Colombo, PR. **Comunicado Técnico**, nº 134: Embrapa-CNPQ, 2005.

HAWKSWORTH, D. L. A new dawn for the naming of fungi: impacts of decisions made in Melbourne in July 2011 on the future publication and regulation of fungal names. **IMA Fungus**, v. 2, n. 2, p. 155-162, 2011.

HAWKSWORTH, D. L. Managing and coping with names of pleomorphic fungi in a period of transition. **IMA Fungus**, v. 3, p. 15-24, 2012.

HAWKSWORTH, D. L., CROUS, P.W., REDHEAD, S.A., et al. The Amsterdam declaration on fungal nomenclature. **IMA Fungus**, v. 2, n. 1, p. 105-112, 2011.

HEPPERLE, D. **SeqAssem®. A sequence analysis tool, contig assembler and trace data visualization tool for molecular sequences**. 2004. Disponível em: <<http://www.sequentix.de>>. Acesso em: Set. 2018.

HIGA, R. C. V.; PEREIRA, J. C. D. **Usos potenciais do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 4 p. (Embrapa Florestas, Comunicado Técnico, 100).

HIROOKA, Y.; TAKEUCHI, J.; HORIE, H.; NATSUAKI, K. T. *Cylindrocladium* brown leaf spot on *Howea belmoreana* caused by *Calonectria ilicicola* (anamorph: *Cylindrocladium parasiticum*) in Japan. **Journal of General Plant Pathology**, v. 74, n. 1, p. 66-70, 2008.

HODGES, C. S.; MAY, L. C. A root disease of pine, *Araucaria*, and *Eucalyptus* in Brazil caused by a new species of *Cylindrocladium*. **Phytopathology**, v. 62, p. 898-901. 1972.

HODGES, C. S.; REIS, M. S.; MAY, L. C. Duas enfermidades em plantações de essências florestais exóticas no Brasil. **Brasil Florestal**, v. 6, p. 5-12, 1973.

HUELSENBECK, J. P.; RONQUIST, F. MRBAYES: Bayesian inference of phylogenetic trees. **Bioinformatics**, v. 17, p. 754-755, 2001.

IBÁ - **INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES**, 2017. Disponível em: <https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>. Acesso em: nov. 2018.

JOVANOVIC, T.; BOOTH, T. H. **Improved species climatic profiles**. Australia: Union Offset Printing: Joint Venture Agroforestry Program, Rural Industries Research and Development Corporation, 2002. 68 p.

KAGEYAMA, P. Y. **Variação genética em progênies de uma população de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden**. 1980. 125 f. Dissertação (Mestrado em Genética), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

KAGEYAMA, P. Y.; VENCOVSKY, R. Variação genética em progênies de uma população de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden. **IPEF**, Piracicaba, v. 24, p. 9-26, 1983.

KALIL FILHO, A. N.; PIRES, C. L. S.; GURFINKEL, J. **Estimação de parâmetros genéticos e observação do comportamento em *Eucalyptus saligna* Smith em Angatuba (SP)**. In: CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL, 15, 1982, São Paulo. Resumos. São Paulo, 1982.

KRUGNER, T. L.; GUERRINI, I. A.; AUER, C. G. Surto epidêmico da mancha foliar causada por *Cylindrocladium* spp. e sua relação com o crescimento de espécies/procedências de *Eucalyptus* na região de Tucuruí, PA. **IPEF**, Piracicaba, n. 43/44, p. 74-78, 1991.

LARGET, B.; SIMON, D. L. Markov chain Monte Carlo algorithms for the Bayesian analysis of phylogenetic trees. **Molecular Biology and Evolution**, v. 16, p. 750-759. 1999.

LAU, D.; RODRIGUES, M. A. D.; LAU, E. Y.; ALFENAS, A. C. Resistência a doenças: aplicações em patossistemas florestais. In: BORÉM, A. **Biotechnology florestal**. Viçosa: Ed. Viçosa, 2007. p. 143-173.

LI, J. Q.; WINGFIELD, M. J.; LIU, Q.; BARNES, I.; ROUX, J.; LOMBARD, L.; CROUS, P. W.; CHEN, S. *Calonectria* species isolated from *Eucalyptus* plantations and nurseries in South China. **IMA Fungus**, v. 8, n. 2, p. 259-286, 2017.

LIMA, E. A. ***Eucaliptus benthamii* – Uma alternativa energética para áreas de ocorrência de geadas severas**. Painel Florestal. 2007.

LOMBARD, L.; RODAS, C. A.; CROUS, P. W.; WINGFIELD, B. D.; WINGFIELD, M. J. *Calonectria* (*Cylindrocladium*) species associated with dying *Pinus* cuttings. **Persoonia**, v. 23, p. 41–47, 2009.

LOMBARD, L.; CROUS, P. W.; WINGFELD, B. D.; WINGFIELD, M. J. Species concepts in *Calonectria* (*Cylindrocladium*). **Studies in Mycology**, v. 66, p. 15-30. 2010.

LOMBARD, L.; CHEN, S. F.; MOU, X.; ZHOU, X. D.; CROUS, P. W.; WINGFIELD, M. J. New species, hyper-diversity and potential importance of *Calonectria* spp. from *Eucalyptus* in South China. **Studies in Mycology**, v. 80, p.151–188. 2015.

LOMBARD, L.; WINGFIELD, M. J.; ALFENAS, A. C.; CROUS, P. W. The forgotten *Calonectria* collection: Pouring old wine into new bags. **Studies in Mycology**, v. 85, p. 159-198, 2016.

MAFIA, R. G.; ALFENAS, A. C.; MAFFIA, L. A.; FERREIRA, E. M.; BINOTI, D. H. B.; MAFIA, G. M. Plant growth promoting rhizobacteria as agents in the biocontrol of eucalyptus minicutting rot. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, n. 1, p. 10-17, 2009.

MATRANGOLO, C. A. R.; CASTRO, R. V. O.; DELLA LUCIA, T. M. C.; DELLA LUCIA, R. M.; MENDES, A. F. N.; COSTA, J. M. F. N.; LEITE, H. G. Crescimento de eucalipto sob efeito de desfolhamento artificial. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 9, p. 952-957, 2010.

MELETTI, L. M. M.; SANTOS, R. R.; MINAMI, K. Melhoramento do maracujazeiro amarelo: obtenção do composto IAC-27. **Scientia Agricola**, v. 56, p. 491-498, 2000.

MILGATE, A. W.; POTTS, B. M.; JOYCE, K.; MOHAMMED, C.; VAILLANCOURT, R. E. Genetic variation in *Eucalyptus globulus* for susceptibility to *Mycosphaerella nubilosa* and its association with tree growth. **Australasian Plant Pathology**, v. 34, p. 11-18, 2005.

MIRANDA, A. C.; MORAES, M. L. T.; TAMBARUSSI, E. V.; FURTADO, E. L.; MORI, E. S.; SILVA, P. H. M.; SEBBENN, A. M. Heritability for resistance to *Puccinia psidii* Winter rust in *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden in Southwestern Brazil, **Tree Genetics & Genomes**, v. 9, p. 321-329, 2013.

MIRANDA, A. C. **Caracterização e comparação da diversidade genética de populações de *Eucalyptus grandis* por meio de marcadores moleculares e características quantitativas**. 84 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal), UNESP, Botucatu, 2016.

MORA, A. L.; GARCIA, C. H. **A cultura do eucalipto no Brasil**. São Paulo: 2000. 114 p.

MORI, E. S.; SEBBENN, A. M.; TAMBARUSSI, E. V.; GURIES, R. P. Sistema de reprodução em populações naturais de *Peltophorum dubium*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 41, n. 99, p. 307-317, 2013.

NAMKOONG, G. Inbreeding effects on estimation of genetic additive variance. **For Sci**, v. 12, n. 1, p. 8-13, 1966.

NAMKOONG, G. **Introduction to quantitative genetics in forestry**. Washington, D. C.: Forest Service, 342 p. (Technical Bulletin, 1588). 1979.

NAMKOONG, G.; BARNES, R. D.; BURLEY, J. Screening for yield in forest tree breeding. *Commonwealth For. Rev.* v. 59 p. 61-68. 1980.

NIRENBERG, H. A simplified method for identifying *Fusarium* spp. Occurring on wheat. **Canadian Journal of Botany**, v. 59, p. 1599-1609, 1981.

NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G. I. B.; KLOCK, U. Caracterização anatômica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 67-76, 1998.

NOVAES, Q. S.; SOUZA, V. C.; DIAS, P. C.; SANTOS, A.; BEZERRA, J. L. *Toona ciliata*, a new host of *Cylindrocladium clavatum* in Brazil. **Summa Phytopathologica**, v. 38, n. 3, p. 251-252, 2012.

NSW National Parks and Wildlife Service. **Environmental Impact Assessment Guidelines – *Eucalyptus benthamii* Maiden and Cabbage**. NSW Government. 2000. Disponível em: <<http://www.environment.nsw.gov.au/resources/nature/EbenthamiiEia0500.pdf>>. Acesso em: 18 out. 2017.

O'DONNELL, K.; CIGELNIK, E. Two divergent intragenomic rDNA ITS2 types within a monophyletic lineage of the fungus *Fusarium* are nonorthologous. **Mol. Phylogenet. Evol.**, v. 7, p. 103–116. 1997.

OFFICE OF ENVIRONMENT AND HERITAGE (OEH). **Camden White Gum – profile**. NSW Government. 2017. Disponível em: <<http://www.environment.nsw.gov.au/threatenedspeciesapp/profile.aspx?id=10284>>. Acesso em: 18 out. 2017.

OLIVEIRA, L. S. S.; GUIMARÃES, L. M. S.; FERREIRA, M. A.; NUNES, A. S.; PIMENTA, L. V. A.; ALFENAS, A. C. Aggressiveness, cultural characteristics and

genetic variation of *Ceratocystis fimbriata* on *Eucalyptus* spp. **Forest Pathology**, v. 45, p. 505-514, 2015.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T.; FERREIRA, C. A. **Eucaliptos indicados para plantio no estado do Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas - CNPF, 2006. 45 p. (Documentos, 129).

PATAKY, J. K.; CARSON, M. L. Resistência da planta hospedeira. In: TRIGIANO, R. N.; WINDHAM, M. T.; WINDHAM, A. S. **Fitopatologia: conceitos e exercícios de laboratório**. 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. p. 411 - 428.

PIRES, B. M. **Efeito da desrama artificial no crescimento e na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* para serraria**. 91 f. 2000. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

PIRES, I. E.; RESENDE, M. D. V.; SILVA, R. L.; RESENDE JR.; M. F. R. **Genética florestal**. 1 ed, Arka: Viçosa-MG, 2011. 318 p.

PIMENTEL, A. J. B.; GUIMARÃES, J. F. R.; SOUZA, M. A.; RESENDE, M. D. V.; MOURA, L. M.; ROCHA, J. R. do A. S. C.; RIBEIRO, G. Estimação de parâmetros genéticos e predição de valor genético aditivo de trigo utilizando modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, p. 882-890, 2014.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

PINHEIRO, E.; PINHEIRO, F. S. V.; ALVES, R. M. Comportamento de alguns clones de *Hevea* sp., em Açailândia, na região pré-amazônica maranhense. In: SEMINÁRIO NACIONAL DA SERINGUEIRA, 3., Manaus, **Anais**. 1980.

POLIZZI, G.; VITALE, A.; AIELLO, D.; GUARNACCIA, V.; CROUS, P.; LOMBARD, L. First report of *Calonectria ilicicola* causing a new disease on Laurus (*Laurus nobilis*) in Europe. **Journal of Phytopathology**, v. 160, n. 1, p. 41- 44, 2012.

PRYOR, L. D. **The biology of *Eucalyptus***. London: Edward Arnold; 1976. 82 p.

RESENDE, M. D. V.; FURLANI-JÚNIOR, E.; MORAES, M. L. T.; FAZUOLI, L. C. Estimativas de parâmetros genéticos e predição de valores genotípicos no

melhoramento do cafeeiro pelo procedimento REML/BLUP. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 3, p.185-193, 2001.

RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 561 p.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, p. 182-194, 2007.

RESENDE, M. D. V.; ASSIS, T. F.; GRATTAPAGLIA, D.; PIRES, I. E. Genética e melhoramento do eucalipto. In: VALE, A. B. do; MACHADO, C. C.; PIRES, J. M. M.; VILAR, M. B.; COSTA, C. B.; NACIF, A. de P. (Ed.). **Eucaliptocultura no Brasil: silvicultura, manejo e ambiência**. Viçosa, MG: SIF, 2014. p. 103-119.

RESENDE, M. D. V. **Genética quantitativa e de populações**. Viçosa- MG: Suprema. 2015. 463 p.

REZENDE, E. H.; AUER, C. G.; HIGA, A. R.; SANTOS, A. F.; SILVA, L. D. Fungos associados à mancha foliar e ao cancro de *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden), em dois locais do estado de São Paulo. **Enciclopédia Biosfera**, v. 14, n. 25, p. 726, 2017.

REZENDE, E. H. **Melhoramento genético de *Eucalyptus grandis*, visando crescimento e a resistência ao cancro de *Crysoporthe cubensis*/*Botryosphaeria* sp. e a mancha foliar de *Cylindrocladium* sp./*Kirramyces epicoccoides***. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). 2018. Tese: Doutorado em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, PR. 2018.

R CORE TEAM (R). **A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. 2018.

RITLAND, K. Correlated matings in the partial selfer *Mimulus guttatus*. **Evolution**, Lancaster, v. 43, n. 4, p. 848-859, 1989.

ROBINSON, H. F.; COCKERHAM, C. C. Estimacion y significado de los parametros geneticos. **Fitotecnica Latinoamericana**, v. 2, p. 23-38, 1965.

RONQUIST, F.; TESLENKO, M.; MARK, P. VAN DER. MrBayes 3.2: efficient Bayesian phylogenetic inference and model choice across a large model space.

Systematic Biology, v. 61, p. 539–542, 2012.

ROSSMAN, A. Y. *Calonectria* and its type species, *C. daldiniana*, a later synonym of *C. pyrochroa*. **Mycotaxon**, v. 8, p. 321–328, 1979.

ROSSMAN, A. Y.; SEIFERT, K. A.; SAMUELS, G. J.; et al. Genera of Bionectriaceae, Hypocreaceae and Nectriaceae (Hypocreales) proposed for acceptance and rejection. **IMA Fungus**, v. 4, p. 41–51, 2013.

SANTAROSA, E.; PENTEADO JÚNIOR, J. F.; GOULART, I. C. G. R. **Transferência de Tecnologia Florestal - cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda**. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

SANTOS, A. F.; AUER, C. G.; GRIGOLETTI JUNIOR, A. **Doenças do eucalipto no sul do Brasil: identificação e controle**. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. 20 p. (Circular Técnica, 45).

SCHULTZ, B. **Doenças bióticas e abióticas em *Eucalyptus benthamii* Maiden**. 2011. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

SCHULTZ, B.; SBRAVATTI JUNIOR, J. A.; AUER, C. G.; SANTOS, A. F. Impacto da mancha foliar causada por *Cylindrocladium candelabrum* em plantios jovens de *Eucalyptus benthamii* em Rio Negrinho - SC. **Ciência Florestal**, v. 25, p. 307–316, 2015.

SCHUMACHER, M. V.; VIEIRA, M. **Silvicultura do eucalipto no Brasil**. Santa Maria, RS: UFSM, 2015. 308 p.

SEARLE, S. R.; CASELLA, G.; McCULLOCH, C. E. **Variance Components**. New York: John Wiley & Sons, 1992. 501 p.

SEBBENN, A. M. Tamanho amostral para conservação ex situ de espécies arbóreas com sistema misto de reprodução. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 15, p. 109–124, 2003.

SEBBENN, A. M.; SIQUEIRA, A. C. M. F.; KAGEYAMA, P. Y.; MACHADO, J. A. R. Parâmetros genéticos na conservação da cabreúva – *Myroxylon peruiferum* L.F. Allemão. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 53, p. 31–38, 1998.

SEBBENN, A. M. Sistema de reprodução em espécies arbóreas tropicais e suas implicações para a seleção de árvores matrizes para reflorestamentos ambientais. In: HIGA, A. R.; SILVA, L. **Pomares de sementes de espécies nativas**, Curitiba: FUPEF, p.193-198, 2006.

SEBBENN, A. M; BÔAS, O. V; MAX, J. C. M. Altas herdabilidades e ganhos na seleção para caracteres de crescimento em teste de progênies de polinização aberta de *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii*, aos 25 anos de idade em Assis-SP. **Revista do Instituto Florestal**, v. 20, n. 2, p. 95-102, 2008.

SCHULTZ, B. **Doenças bióticas e abióticas em *Eucalyptus benthamii* Maiden**. 2011. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

SCHULTZ, B.; SBRAVATTI JUNIOR, J. A.; AUER, C. G.; SANTOS, A. F. Impacto da mancha foliar causada por *Cylindrocladium candelabrum* em plantios jovens de *Eucalyptus benthamii* em Rio Negrinho – SC. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 2. p. 307-316, 2015.

SILVA, L. D. **Melhoramento genético de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage visando à produção de madeira serrada em áreas de ocorrência de geadas severas**. 275 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

SILVA, P.H.M.; BARRICHELO L.E.G. Progressos recentes na área florestal. In: PATERNIANI, E. **Ciência, Agricultura e Sociedade**. Embrapa, Brasília. p.439-456. 2006.

SILVA, D. L.; HIGA, A. R. SANTOS, A. G. **Silvicultura e melhoramento genético do *Eucalyptus benthamii***. Curitiba: FUPEF, 2012.

SOARES, I. D.; AUER, C. G.; SANTOS, A. F.; TAMBARUSSI, E. V.; REZENDE, E. H.; COELHO, T. A. V.; DUIN, I. M. Fungos associados à mancha foliar em *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage na região sul do Brasil. **Biofix Scientific Journal**, v. 2, p. 32-37, 2017.

SQUILLACE, A. E. Average genetic correlations among offspring from open-pollinated forest trees. **Silvae Genetica**, Frankfurt, v. 23, n. 5, p. 149-156. 1974.

SWAIN, T. An overview of the status of cold tolerant eucalypt trials in South Africa. In: CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTUS, 1997: Salvador. **Anais...** Colombo: IUFRO, 1997. p.69-76.

TAMBARUSSI, E. V.; PEREIRA, F. B.; SILVA, P. H. M.; LEE, D.; BUSH, D. Are tree breeders properly predicting genetic gain? A case study involving *Corymbia* species. **Euphytica**, v. 214, n. 150, 2018.

VAN DER PLANK, J. E. **Disease resistance in plant**. New York: Academic Press, 1968. 206 p.

VAN DER PLANK, J. E. **Disease resistance in plants**. New York: Academic Press, 1984. 194 p.

VAN BUIJTENEN, J. P. Fundamental genetic principles. In: FINS, L.; FRIEDMAN, S. T.; BROTSCHOL, J. V. **Handbook of quantitative forest genetics**. Kluwer, Dordrecht, p. 29-68, 1992.

VAN VLECK, L. D.; POLLAK, E.J.; OLTENACU, E.A.B. **Genetical for the animal Sciences**. New York: W.H. Freeman, 1987. 391 p.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. Genética biométrica no fitomelhoramento. Ribeirão Preto: **Sociedade Brasileira de Genética**, 1992. 496 p.

VENCOVSKY, R.; PEREIRA, M. B.; CRISÓSTOMO, J. R.; FERREIRA, M. A. J. Genética e melhoramento de populações mistas. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLIS, M. C. Recursos genéticos e melhoramento. Rondonópolis: **Fundação MT**, p. 231-281, 2001.

VITALE, A.; CROUS, P. W.; LOMBARD, L.; POLIZZI, G. *Calonectria* diseases on ornamental plants in Europe and the Mediterranean basin: an overview. **Journal of Plant Pathology**, v. 95, n. 3 p. 463–476, 2013.

VISSCHER, P. M.; HILL, W. G.; WRAY, N. R. Heritability in the genomics era - concepts and misconceptions. **Nature Review Genetics**, v. 9, p. 255-266, 2008.

WINGFIELD, M. J.; DE BEER, Z. W.; SLIPPERS, B.; WINGFIELD, B. D.; GROENEWALD, J. Z.; LOMBARD, L.; CROUS, P. W. One fungus, one name promotes progressive plant pathology. **Molecular Plant Pathology**, v. 13, p. 604-613. 2012.

WRAY, N.; VISSCHER, P. Estimating trait heritability. **Nature Education**, v. 1, n. 1, 2008.

WRIGHT, S. Coefficients of inbreeding and relationship. **American Naturalist**, v. 56, p. 330–338, 1922.

WRIGHT, J. W. **Introduction to forest genetics**. New York: Academic Press, 1976. 464p

XAVIER, A. A.; VON SANFUENTES, E.; JUNGHANS, D. T.; ALFENAS, A. C. Resistência de *Eucalyptus globulus* e *Eucalyptus nitens* à ferrugem (*Puccinia psidii*). **Revista árvore**, v.31, n. 4, p. 731-735, 2007.

XAVIER, A.; SILVA, R. L. Evolução da silvicultura clonal de *Eucalyptus* no Brasil. **Agronomía Costarricense**, v. 34, n. 1, p. 93-98, 2010.

YE, X.; ZHONG, Z.; LIU, H.; et al. Whole genome and transcriptome analysis reveal adaptive strategies and pathogenesis of *Calonectria pseudoreteaudii* to *Eucalyptus*. **BMC Genomics**, v.19, n. 1, 2018.

ZANATA, M., FREITAS, M. L. M., SILVA, M. T., MORAIS, E., ZANATTO, A. C. S.; SEBBENN, A. M. Parâmetros genéticos e ganhos na seleção em teste de progênies de polinização aberta de *Eucalyptus pellita*, Batatais – SP. **Revista do Instituto Florestal**, v. 22 n. 2 p. 233-242. 2010.

ZHU, J. H.; GUO, W. S.; CHEN, H. M.; WU, J. Q.; CHEN, Q. Z.; MENG, X. M. Loss estimation of eucalyptus growth caused by of eucalyptus dieback. **For Pest Dis**, v. 30, n. 5, p. 6-10, 2011.

ZIMBACK, L.; MORI, E. S.; BRIZOLLA T. F.; CHAVES, R. Correlações entre caracteres silviculturais durante o crescimento de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Rev Inst Flor**, v. 23, n. 1, p. 57–67, 2011.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – ORDENAMENTO DE CLASSIFICAÇÃO DAS PROGÊNIES DE *Eucalyptus benthamii*, DE ACORDO COM A SEVERIDADE MÉDIA DE MANCHA FOLIAR, NO TESTE DE PROGÊNIES EM MAFRA – SC, AOS 10, 16 E 27 MESES DE IDADE

(continua)

Classificação	Mancha 10 meses		Mancha 16 meses		Mancha 27 meses	
	Progênes	Média	Progênes	Média	Progênes	Média
1	610	3,3	61	2,0	993	2,5
2	71	3,4	63	2,0	93	2,6
3	433	3,5	83	2,0	C1	2,7
4	1070	3,5	93	2,0	123	2,7
5	844	3,6	786	2,0	1042	2,8
6	852	3,6	875	2,0	113	2,8
7	1024	3,6	910	2,1	61	2,8
8	95	3,6	950	2,1	1292	2,8
9	221	3,6	1292	2,1	63	2,9
10	897	3,6	1362	2,1	433	2,9
11	1076	3,6	233	2,1	143	2,9
12	1235	3,6	271	2,1	910	2,9
13	1294	3,6	903	2,1	83	2,9
14	437	3,6	C1	2,1	51	2,9
15	33	3,7	23	2,1	C3	2,9
16	113	3,7	51	2,1	C2	2,9
17	213	3,7	73	2,1	153	2,9
18	223	3,7	787	2,1	283	2,9
19	183	3,7	844	2,1	163	2,9
20	360	3,7	852	2,1	233	2,9
21	1229	3,7	872	2,1	875	2,9
22	1312	3,7	2603	2,1	903	3,0
23	73	3,7	153	2,1	787	3,0
24	193	3,7	243	2,1	613	3,0
25	787	3,7	1229	2,1	1362	3,0
26	980	3,7	12701	2,1	1229	3,0
27	1140	3,7	303	2,2	1233	3,0
28	1233	3,7	1053	2,2	223	3,0
29	1269	3,7	1233	2,2	872	3,0
30	T2	3,7	1235	2,2	173	3,0
31	13	3,7	253	2,2	T1	3,0
32	243	3,7	173	2,2	844	3,0
33	293	3,7	123	2,2	13	3,0
34	43	3,8	213	2,2	103	3,0
35	79	3,8	231	2,2	952	3,1
36	93	3,8	283	2,2	1055	3,1

APÊNDICE 1 – ORDENAMENTO DE CLASSIFICAÇÃO DAS PROGÊNIES DE *Eucalyptus benthamii*, DE ACORDO COM A SEVERIDADE MÉDIA DE MANCHA FOLIAR, NO TESTE DE PROGÊNIES EM MAFRA – SC, AOS 10, 16 E 27 MESES DE IDADE

(continuação)

Classificação	Mancha 10 meses		Mancha 16 meses		Mancha 27 meses	
	Progênes	Média	Progênes	Média	Progênes	Média
37	263	3,8	783	2,2	980	3,1
38	875	3,8	113	2,2	1271	3,1
39	982	3,8	1270	2,2	783	3,1
40	1270	3,8	12902	2,2	852	3,1
41	1292	3,8	T1	2,2	1234	3,1
42	51	3,8	133	2,2	221	3,1
43	921	3,8	1166	2,2	1139	3,1
44	1271	3,8	C2	2,3	1140	3,1
45	61	3,8	C3	2,3	263	3,1
46	231	3,8	103	2,3	95	3,1
47	283	3,8	1139	2,3	934	3,1
48	975	3,8	1311	2,3	950	3,1
49	993	3,8	613	2,3	1235	3,1
50	1236	3,8	934	2,3	133	3,1
51	1311	3,8	1234	2,3	293	3,1
52	T3	3,8	143	2,3	1236	3,2
53	153	3,8	952	2,3	921	3,2
54	12902	3,8	982	2,3	243	3,2
55	T1	3,8	1024	2,3	12902	3,2
56	C3	3,9	263	2,3	T3	3,2
57	143	3,9	293	2,3	23	3,2
58	163	3,9	33	2,4	73	3,2
59	872	3,9	79	2,4	1311	3,2
60	910	3,9	433	2,4	71	3,2
61	952	3,9	1042	2,4	1270	3,2
62	1053	3,9	T3	2,4	303	3,2
63	1139	3,9	13	2,4	786	3,2
64	2603	3,9	437	2,4	43	3,2
65	12701	3,9	71	2,4	1294	3,2
66	23	3,9	921	2,4	1269	3,2
67	133	3,9	1271	2,4	559	3,2
68	233	3,9	610	2,4	982	3,2
69	253	3,9	163	2,5	253	3,2
70	1234	3,9	975	2,5	1024	3,3
71	83	3,9	980	2,5	231	3,3
72	103	3,9	1076	2,5	1166	3,3
73	203	3,9	1140	2,5	1312	3,3
74	271	3,9	1236	2,5	1053	3,3
75	303	3,9	1294	2,5	437	3,3

APÊNDICE 1 – ORDENAMENTO DE CLASSIFICAÇÃO DAS PROGÊNIES DE *Eucalyptus benthamii*, DE ACORDO COM A SEVERIDADE MÉDIA DE MANCHA FOLIAR, NO TESTE DE PROGÊNIES EM MAFRA – SC, AOS 10, 16 E 27 MESES DE IDADE

(conclusão)

Classificação	Mancha 10 meses		Mancha 16 meses		Mancha 27 meses	
	Progênes	Média	Progênes	Média	Progênes	Média
76	559	3,9	T2	2,5	2603	3,3
77	783	3,9	559	2,5	12701	3,3
78	950	3,9	1312	2,5	193	3,3
79	C1	3,9	43	2,5	360	3,3
80	613	3,9	203	2,5	610	3,3
81	903	3,9	223	2,5	1076	3,4
82	1166	3,9	360	2,5	1070	3,4
83	C2	4,0	1055	2,5	203	3,4
84	173	4,0	193	2,6	183	3,4
85	1042	4,0	1269	2,6	T2	3,5
86	1362	4,0	993	2,6	975	3,5
87	63	4,0	221	2,6	271	3,6
88	123	4,0	1070	2,7	213	3,6
89	786	4,0	183	2,7	33	3,6
90	934	4,0	95	2,7	79	3,7
91	1055	4,0	897	3,6	897	3,7

FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: C1: Testemunha clonal 1; C2: Testemunha clonal 2; C3: Testemunha clonal 3; T1: Testemunha progênie 1; T2: Testemunha progênie 2; T3: Testemunha progênie 3.

NOTA: Escala de notas: 0 (plantas sadias), 1 (ausência de desfolha e presença de manchas foliares nos galhos inferiores), 2 (desfolha até 1/3 da árvore), 3 (desfolha até 1/2 da árvore), 4 (desfolha até 2/3 da árvore). Adaptado de Schultz (2011).

APÊNDICE 2 – ORDENAMENTO DE CLASSIFICAÇÃO DAS PROGÊNIES DE *Eucalyptus benthamii*, DE ACORDO COM A SEVERIDADE MÉDIA DE MANCHA FOLIAR, NO TESTE DE PROGÊNIES EM PORTO UNIÃO – SC, AOS 16 E 27 MESES DE IDADE

(continua)

Classificação	Mancha 16 meses		Mancha 27 meses	
	Progênes	Média	Progênes	Média
1	283	1,89	613	2,9
2	1076	2,05	C3	3,0
3	1229	2,06	113	3,0
4	103	2,10	283	3,0
5	143	2,10	1233	3,0
6	243	2,10	952	3,0
7	303	2,10	1236	3,1
8	223	2,11	C2	3,1
9	613	2,11	163	3,1
10	C1	2,15	437	3,1
11	163	2,15	51	3,1

APÊNDICE 2 – ORDENAMENTO DE CLASSIFICAÇÃO DAS PROGÊNIES DE *Eucalyptus benthamii*, DE ACORDO COM A SEVERIDADE MÉDIA DE MANCHA FOLIAR, NO TESTE DE PROGÊNIES EM PORTO UNIÃO – SC, AOS 16 E 27 MESES DE IDADE

(continuação)

Classificação	Mancha 16 meses		Mancha 27 meses	
	Progênes	Média	Progênes	Média
12	193	2,15	1235	3,1
13	233	2,15	T1	3,1
14	1311	2,15	921	3,1
15	203	2,16	103	3,1
16	975	2,16	71	3,1
17	1235	2,16	C1	3,1
18	79	2,20	875	3,2
19	1236	2,20	73	3,2
20	43	2,21	1042	3,2
21	C3	2,25	123	3,2
22	23	2,25	95	3,2
23	153	2,25	559	3,2
24	213	2,25	221	3,2
25	221	2,25	872	3,2
26	71	2,26	61	3,2
27	293	2,26	143	3,2
28	1233	2,26	910	3,2
29	1292	2,26	83	3,3
30	83	2,30	934	3,3
31	559	2,30	93	3,3
32	950	2,30	173	3,3
33	952	2,30	982	3,3
34	T1	2,30	2603	3,3
35	95	2,32	950	3,3
36	872	2,32	1362	3,3
37	61	2,35	193	3,3
38	93	2,35	1055	3,3
39	123	2,35	233	3,3
40	1234	2,35	293	3,3
41	1271	2,35	12902	3,3
42	51	2,37	852	3,3
43	63	2,37	223	3,4
44	271	2,37	203	3,4
45	1166	2,37	786	3,4
46	73	2,40	844	3,4
47	113	2,40	303	3,4
48	910	2,40	1140	3,4
49	934	2,40	12701	3,4
50	1140	2,40	1234	3,4
51	2603	2,40	153	3,4

APÊNDICE 2 – ORDENAMENTO DE CLASSIFICAÇÃO DAS PROGÊNIES DE *Eucalyptus benthamii*, DE ACORDO COM A SEVERIDADE MÉDIA DE MANCHA FOLIAR, NO TESTE DE PROGÊNIES EM PORTO UNIÃO – SC, AOS 16 E 27 MESES DE IDADE

(conclusão)

Classificação	Mancha 16 meses		Mancha 27 meses	
	Progênes	Média	Progênes	Média
52	437	2,42	980	3,4
53	12701	2,42	33	3,4
54	875	2,44	T3	3,4
55	610	2,44	897	3,4
56	1042	2,45	783	3,4
57	1362	2,45	43	3,4
58	1294	2,47	1229	3,4
59	33	2,50	23	3,4
60	852	2,50	975	3,4
61	982	2,50	1053	3,4
62	12902	2,50	13	3,5
63	T3	2,53	63	3,5
64	C2	2,55	787	3,5
65	13	2,55	1271	3,5
66	173	2,55	1024	3,5
67	921	2,55	1269	3,5
68	980	2,56	1311	3,5
69	433	2,60	1139	3,5
70	787	2,60	243	3,5
71	1053	2,60	1292	3,5
72	783	2,63	433	3,6
73	231	2,65	903	3,6
74	786	2,65	1076	3,6
75	897	2,65	183	3,6
76	1139	2,65	1294	3,6
77	1270	2,68	T2	3,6
78	133	2,70	253	3,6
79	253	2,70	360	3,6
80	1024	2,70	1166	3,6
81	844	2,72	79	3,6
82	1055	2,75	263	3,6
83	T2	2,79	231	3,6
84	360	2,85	133	3,6
85	993	2,85	271	3,7
86	183	2,90	610	3,7
87	903	2,90	213	3,7
88	1269	2,90	1270	3,7
89	263	2,95	993	3,7
90	1070	3,05	1070	3,8
91	1312	3,05	1312	3,8

FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: C1: Testemunha clonal 1; C2: Testemunha clonal 2; C3: Testemunha clonal 3; T1: Testemunha progênie 1; T2: Testemunha progênie 2; T3: Testemunha progênie 3.

NOTA: Escala de notas: 0 (plantas sadias), 1 (ausência de desfolha e presença de manchas foliares nos galhos inferiores), 2 (desfolha até 1/3 da árvore), 3 (desfolha até 1/2 da árvore), 4 (desfolha até 2/3 da árvore). Adaptado de Schultz (2011).

APÊNDICE 3 – ORDENAMENTO DE CLASSIFICAÇÃO DAS PROGÊNIES DE *Eucalyptus benthamii*, DE ACORDO COM A SEVERIDADE MÉDIA DE MANCHA FOLIAR, NO TESTE DE PROGÊNIES EM SÃO MATEUS DO SUL – PR, AOS 16 E 27 MESES DE IDADE
(continua)

Classificação	Mancha 16 meses		Mancha 27 meses	
	Progênies	Média	Progênies	Média
1	C1	1,9	C3	3,1
2	C3	2,0	C1	3,3
3	934	2,0	61	3,3
4	103	2,0	980	3,4
5	113	2,0	952	3,4
6	123	2,0	C2	3,5
7	203	2,0	63	3,5
8	221	2,0	51	3,5
9	233	2,0	903	3,5
10	283	2,0	852	3,5
11	844	2,0	993	3,5
12	910	2,0	233	3,5
13	1042	2,0	143	3,5
14	1139	2,0	844	3,5
15	2603	2,0	1229	3,5
16	13	2,1	2603	3,5
17	61	2,1	1140	3,6
18	163	2,1	1233	3,6
19	173	2,1	13	3,6
20	223	2,1	786	3,6
21	360	2,1	293	3,6
22	610	2,1	203	3,6
23	613	2,1	1139	3,6
24	783	2,1	950	3,6
25	786	2,1	910	3,6
26	787	2,1	1235	3,6
27	952	2,1	103	3,6
28	1233	2,1	1292	3,6
29	1234	2,1	133	3,6
30	1362	2,1	1234	3,6
31	12701	2,1	872	3,6
32	79	2,1	12902	3,6
33	133	2,1	1236	3,6

APÊNDICE 3 – ORDENAMENTO DE CLASSIFICAÇÃO DAS PROGÊNIES DE *Eucalyptus benthamii*, DE ACORDO COM A SEVERIDADE MÉDIA DE MANCHA FOLIAR, NO TESTE DE PROGÊNIES EM SÃO MATEUS DO SUL – PR, AOS 16 E 27 MESES DE IDADE
(continuação)

Classificação	Mancha 16 meses		Mancha 27 meses	
	Progênes	Média	Progênes	Média
34	1229	2,1	163	3,6
35	1235	2,1	223	3,6
36	1269	2,1	95	3,6
37	C2	2,1	T3	3,6
38	33	2,1	982	3,6
39	993	2,1	113	3,6
40	271	2,1	613	3,6
41	43	2,1	71	3,6
42	63	2,1	231	3,6
43	73	2,1	437	3,7
44	193	2,1	1311	3,7
45	263	2,1	559	3,7
46	559	2,1	360	3,7
47	852	2,1	875	3,7
48	872	2,1	1076	3,7
49	897	2,1	1271	3,7
50	950	2,1	1294	3,7
51	975	2,1	83	3,7
52	980	2,1	303	3,7
53	1055	2,1	787	3,7
54	1140	2,1	1042	3,7
55	1271	2,1	T1	3,7
56	1294	2,1	610	3,7
57	51	2,1	783	3,7
58	83	2,1	921	3,7
59	1076	2,1	283	3,7
60	1292	2,1	79	3,7
61	1311	2,1	221	3,7
62	1312	2,1	123	3,7
63	293	2,1	1166	3,7
64	T3	2,1	897	3,7
65	12902	2,2	433	3,7
66	T2	2,2	253	3,7
67	303	2,2	1270	3,7
68	1024	2,2	43	3,7
69	1166	2,2	73	3,7
70	23	2,2	975	3,7
71	93	2,2	934	3,8
72	231	2,2	1055	3,8

APÊNDICE 3 – ORDENAMENTO DE CLASSIFICAÇÃO DAS PROGÊNIES DE *Eucalyptus benthamii*, DE ACORDO COM A SEVERIDADE MÉDIA DE MANCHA FOLIAR, NO TESTE DE PROGÊNIES EM SÃO MATEUS DO SUL – PR, AOS 16 E 27 MESES DE IDADE
(conclusão)

Classificação	Mancha 16 meses		Mancha 27 meses	
	Progênes	Média	Progênes	Média
73	243	2,2	T2	3,8
74	433	2,2	23	3,8
75	437	2,2	153	3,8
76	T1	2,2	243	3,8
77	153	2,2	173	3,8
78	71	2,3	1269	3,8
79	95	2,3	12701	3,8
80	143	2,3	263	3,8
81	253	2,3	1070	3,8
82	1070	2,3	271	3,8
83	1236	2,3	213	3,8
84	903	2,3	183	3,8
85	875	2,3	193	3,8
86	213	2,4	1312	3,8
87	982	2,4	1362	3,8
88	1053	2,4	33	3,9
89	921	2,4	93	3,9
90	183	2,5	1024	3,9
91	1270	2,5	1053	3,9

FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: C1: Testemunha clonal 1; C2: Testemunha clonal 2; C3: Testemunha clonal 3; T1: Testemunha progênie 1; T2: Testemunha progênie 2; T3: Testemunha progênie 3.

NOTA: Escala de notas: 0 (plantas saudáveis), 1 (ausência de desfolha e presença de manchas foliares nos galhos inferiores), 2 (desfolha até 1/3 da árvore), 3 (desfolha até 1/2 da árvore), 4 (desfolha até 2/3 da árvore). Adaptado de Schultz (2011).

APÊNDICE 4 – ORDENAMENTO COMPARATIVO DAS MÉDIAS *BLUP* DAS PROGÊNIES DE *Eucalyptus benthamii*, NO TESTE DE PROGÊNIES EM SÃO MATEUS DO SUL - PR, AOS 27 MESES DE IDADE

SÃO MATEUS DO SUL			
Classificação	Bloco	Progênes	Valor Predito
1	1	C3	3,07
2	4	C3	3,12
3	3	C3	3,19
4	2	C3	3,2
5	1	C1	3,22
6	4	C1	3,27
7	3	C1	3,34
8	2	C1	3,35
9	1	C2	3,42
10	4	C2	3,47
11	1	61	3,48
12	1	980	3,49
13	1	952	3,5
14	1	63	3,51
15	1	51	3,52
16	1	852	3,53
17	1	903	3,53
18	1	993	3,53
19	4	61	3,53
20	1	143	3,54
21	1	233	3,54
22	1	1229	3,54
23	1	2603	3,54
24	3	C2	3,54
25	4	980	3,54
26	1	293	3,54
27	1	786	3,54
28	1	1140	3,54
29	1	1233	3,54
30	2	C2	3,55
31	1	13	3,55

FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: C1: Testemunha clonal 1; C2: Testemunha clonal 2; C3: Testemunha clonal 3.

APÊNDICE 5 – ORDENAMENTO COMPARATIVO DAS MÉDIAS *BLUP* DAS PROGÊNIAS DE *Eucalyptus benthamii*, NO TESTE DE PROGÊNIAS EM PORTO UNIÃO – SC, AOS 27 MESES DE IDADE

(continua)

PORTO UNIÃO			
Classificação	Bloco	Progênes	Valor Predito
1	1	C3	2,93
2	2	C3	2,93
3	4	C3	2,96
4	3	C3	2,98
5	1	C2	3,03
6	2	C2	3,03
7	4	C2	3,06
8	3	C2	3,08
9	1	C1	3,13
10	1	613	3,13
11	2	C1	3,13
12	2	613	3,14
13	4	C1	3,16
14	4	613	3,17
15	1	113	3,17
16	1	283	3,17
17	2	113	3,17
18	2	283	3,17
19	1	1233	3,18
20	3	C1	3,18
21	2	1233	3,18
22	3	613	3,18
23	4	113	3,20
24	4	283	3,20
25	1	952	3,20
26	1	1236	3,20
27	1	51	3,20
28	2	952	3,21
29	2	1236	3,21
30	2	51	3,21
31	4	1233	3,21
32	1	163	3,21
33	1	437	3,21
34	1	921	3,21
35	2	163	3,21
36	2	437	3,21
37	2	921	3,21

APÊNDICE 5 – ORDENAMENTO COMPARATIVO DAS MÉDIAS *BLUP* DAS PROGÊNIES DE *Eucalyptus benthamii*, NO TESTE DE PROGÊNIES EM PORTO UNIÃO – SC, AOS 27 MESES DE IDADE

(conclusão)

PORTO UNIÃO			
Classificação	Bloco	Progênes	Valor Predito
38	3	113	3,21
39	3	283	3,21
40	1	71	3,22
41	2	71	3,23
42	3	1233	3,23
43	4	952	3,23
44	4	1236	3,23
45	4	51	3,23
46	1	T1	3,23
47	1	103	3,23
48	1	1235	3,23
49	2	4	3,24
50	2	103	3,24
51	2	1235	3,24
52	4	163	3,24
53	4	437	3,24
54	4	921	3,24
55	3	952	3,25
56	3	1236	3,25
57	3	51	3,25
58	4	71	3,25
59	1	1042	3,25
60	2	1042	3,26
61	3	163	3,26
62	3	437	3,26
63	3	921	3,26
64	4	4	3,26
65	4	103	3,26
66	4	1235	3,26
67	1	73	3,27
68	1	95	3,27

FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: C1: Testemunha clonal 1; C2: Testemunha clonal 2; C3: Testemunha clonal 3; T1: Testemunha progênie 1.

APÊNDICE 6 – ORDENAMENTO COMPARATIVO DAS MÉDIAS *BLUP* DAS PROGÊNIAS DE *Eucalyptus benthamii*, NO TESTE DE PROGÊNIAS EM MAFRA – SC, AOS 27 MESES DE IDADE

MAFRA			
Classificação	Bloco	Progênes	Valor Predito
1	1	C1	2,5274
2	2	C1	2,5972
3	3	C1	2,7066
4	1	C3	2,7524
5	4	C1	2,7686
6	1	C2	2,7774
7	1	1042	2,7803
8	1	113	2,7964
9	1	1292	2,8126
10	2	C3	2,8222
11	1	51	2,8286
12	1	61	2,8286
13	1	910	2,8286
14	1	143	2,8286
15	1	433	2,8447
16	1	83	2,8447
17	2	C2	2,8472
18	2	1042	2,8503
19	1	993	2,8525
20	1	283	2,8608
21	1	153	2,8608
22	2	113	2,8663
23	1	123	2,8709
24	1	163	2,8769
25	2	1292	2,8824

FONTE: A autora (2018).

LEGENDA: C1: Testemunha clonal 1; C2: Testemunha clonal 2; C3: Testemunha clonal 3.